

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE BEYAZ
EŞYA SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 DİJİTAL DÖNÜŞÜM
YETKİNLİK ANALİZİ**

ZEYNEP KÖKÜMER

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇOK KRİTELİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE BEYAZ
EŞYA SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 DİJİTAL DÖNÜŞÜM
YETKİNLİK ANALİZİ

ZEYNEP KÖKÜMER

Doç.Dr. Gülşen AKMAN

Danışman, Kocaeli Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Burcu ÖZCAN TÜRKKAN

Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Fatma Serab ONURSAL

Jüri Üyesi, İstanbul Ticaret Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.07.2018



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

2011 yılında Almanya’da başlayan Endüstri 4.0 dördüncü sanayi devrimi tüm dünyada hızla yayılarak kabul görmüştür. Firmaların bu yeni rekabet ortamında varlıklarının sürdürebilmesi için Endüstri 4.0’ın getirdiği unsurları kabullenmesi ve değişikliklere adapte olması gereklidir. Ülkemizde önemli bir üretim hacmi yaratan beyaz eşya sektörü Endüstri 4.0 yeni sanayi devrimi ile dijital dönüşüm açısından öncü olacak sektörler arasındadır. Bu bağlamda firmaların dijital dönüşüm noktasında bulundukları konumları iyi analiz etmeleri ve stratejilerini doğru oluşturmaları için değerlendirme ölçütlerini doğru tanımlamaları çok önemlidir.

Endüstri 4.0 konusunda bana çalışma fırsatı veren ve yol gösteren değerli hocam Doç. Dr. Gülşen AKMAN’ a, çalışmam sırasında desteklerini esirgemeyen arkadaşım Öznur İSKEFİYELİ ile her zaman yanımda olan eşim Önder KÖKÜMER’e teşekkür ederim.

Haziran - 2018

Zeynep KÖKÜMER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
GİRİŞ	1
1. SANAYİ DEVRİMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ	4
1.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0)	5
1.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0)	7
1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0)	9
2. DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ VE ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMI.....	10
2.1. Endüstri 4.0 Kavramının Ortaya Çıkışı.....	10
2.2. Endüstri 4.0’da Yatay ve Dikey Entegrasyon Uygulamaları	11
2.3. Endüstri 4.0 Teknolojileri	11
2.3.1. Nesnelerin interneti (IOT)	12
2.3.2. Büyük veri ve analitikler	12
2.3.3. Akıllı makineler	13
2.3.4. Bulut bilişim	14
2.3.5. Siber fiziksel sistemler.....	15
2.3.6. Endüstriyel robotlar	15
2.3.7. Üç boyutlu yazıcılar.....	16
2.3.8. Sanal gerçeklik.....	17
2.3.9. Veri güvenliği	18
2.3.10. Yapay zeka.....	18
2.3.11. Simülasyon	19
2.4. Endüstri 4.0 Uygulamalarının Avantaj ve Dezavantajları	19
2.4.1. Endüstri 4.0 uygulamalarının avantajları.....	19
2.4.2. Endüstri 4.0 uygulamalarının dezavantajları	20
2.5. Akıllı Fabrika Uygulamaları	21
2.5.1. Akıllı fabrikanın tanımı	21
2.5.2. Akıllı fabrikaların özellikleri	22
2.5.3. Akıllı fabrikaların üretim üzerindeki etkileri.....	23
2.5.4. Akıllı fabrikaların işgücü kullanımı üzerindeki etkileri	24
3. ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI VE OLASI ETKİLERİ	26
3.1. Dünyada Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Olası Etkileri	26
3.1.1. Endüstri 4.0’ ın yatırımlar üzerindeki olası etkileri.....	27
3.1.2. Endüstri 4.0’ın büyüme üzerindeki olası etkileri.....	28
3.1.3. Endüstri 4.0’ın istihdam üzerindeki etkileri	29
3.2. Türkiye’de Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Etkileri.....	30

3.3. Endüstri 4.0 Uygulamalarının Türkiye’de KOBİ’ler Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi.....	32
3.3.1. Türk ekonomisi içerisinde KOBİ’lerin yeri.....	33
3.3.2. Türkiye’de kurulmuş olan KOBİ’lerin genel özellikleri	34
3.3.3. Endüstri 4.0 uygulamalarının Türkiye’de KOBİ’ler üzerindeki etkileri.....	35
3.3.3.1. Üretim hacmi ve kalitesi üzerindeki etkileri.....	36
3.3.3.2. İstihdam şekli ve miktarı üzerindeki etkileri	36
3.3.3.3. İç ve dış rekabet üzerindeki etkileri.....	37
3.3.4. Endüstri 4.0 Uygulamalarının KOBİ’ler üzerindeki avantaj ve dezavantajları	39
3.3.4.1. Endüstri 4.0 ın KOBİ’lere yönelik avantajları.....	39
3.3.4.2. Endüstri 4.0’ ın KOBİ’lere yönelik dezavantajları.....	40
3.3.5. Endüstri 4.0 açısından KOBİ’lerin dikkat etmesi gereken hususlar.....	41
4. LİTERATÜR İNCELEME	43
5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ	46
5.1. MACHBETH Yöntemi	46
5.2. TOPSIS Yöntemi	50
6. UYGULAMA	54
6.1. Performans Değerlendirme Kriterleri	56
6.1.1. Teknoloji kullanım seviyesi.....	56
6.1.2. Personel alt yapısı	57
6.1.3. Yalın üretim uygulama seviyesi	57
6.1.3.1. SMED (Single Minute Exchange of Dies) tekli dakikalarda kalıp değişimi	57
6.1.3.2. TPM (Total Productive Maintenance) toplam verimli bakım	58
6.1.3.3. 5S	58
6.1.3.4. VSM (Value Stream Mapping) değer akış analizi.....	59
6.1.3.5. Kanban	59
6.1.3.6. Performans göstergeleri	60
6.1.4. Üretim yönetim araçları.....	60
6.1.4.1. ERP (Enterprise Resource Planning) kurumsal kaynak planlama	60
6.1.4.2. MES (Manufacturing Executing System) üretim yürütme sistemi.....	61
6.1.4.3. Akıllı depo	61
6.1.4.4. EDI (Electronic Data Interchange) elektronik veri değişimi.....	62
6.2. MACHBETH Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi	62
6.3. TOPSIS Yöntemi İle Dijital Dönüşüm Yetkinliğinin Sıralanması	69
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR	77
EKLER.....	82
ÖZGEÇMİŞ	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 5.1. MACHBETH Değer Ağacı Yapısı	47
Şekil 5.2. MACHBETH Karşılaştırma Matrisi	49
Şekil 6.1. Uygulama Akış Şeması.....	54
Şekil 6.2. Dijital Dönüşüm Yetkinliği Değer Ağacı	62
Şekil 6.3. Ana Kriter Kısa İsimleri.....	63
Şekil 6.4. Ana Kriter Ağırlık Matrisi	63
Şekil 6.5. Teknoloji Kullanım Seviyesi Değer Ağacı Yapısı.....	64
Şekil 6.6. Personel Alt Yapısı Değer Ağacı Yapısı	64
Şekil 6.7. Yalın Üretim Uygulama Seviyesi Değer Ağacı Yapısı	64
Şekil 6.8. Üretim Yönetim Araçları Kullanım Seviyesi Değer Ağacı Yapısı.....	65
Şekil 6.9. Teknoloji Kullanım Seviyesi Alt Kriter Kısa İsimleri	65
Şekil 6.10. Personel Alt Yapısı Alt Kriter Kısa İsimleri.....	65
Şekil 6.11. Yalın Üretim Uygulama Seviyesi Alt Kriter Kısa İsimleri.....	66
Şekil 6.12. Üretim Yönetim Araçları Kullanım Seviyesi Alt Kriter Kısa İsimleri	66
Şekil 6.13. Teknoloji Kullanım Seviyesi Alt Kriter Ağırlık Matrisi.....	66
Şekil 6.14. Personel Alt Yapısı Alt Kriter Ağırlık Matrisi	67
Şekil 6.15. Yalın Üretim Uygulama Seviyesi Alt Kriter Ağırlık Matrisi	67
Şekil 6.16. Üretim Yönetim Araçları Alt Kriter Ağırlık Matrisi	67
Şekil 7.1. Dijital Dönüşüm Yetkinlik Kriterleri Açısından Firma Değerleri.....	75

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Türkiye’de Endüstri 4.0 İçin SWOT Analizi.....	31
Tablo 3.2. AB Standartlarına Göre KOBİ Standartları Tanımlaması	33
Tablo 5.1. MACHBETH Anlamsal Kategori.....	48
Tablo 6.1. Dijital Dönüşüm Yetkinlik Kriterleri.....	55
Tablo 6.2. Ana Kriter Ağırlıkları	63
Tablo 6.3. Alt Kriter Ağırlıkları.....	68
Tablo 6.4. Kriter Ağırlıkları	68
Tablo 6.5. Karar Matrisi.....	69
Tablo 6.6. Normalize Edilmiş Karar Matrisi	70
Tablo 6.7. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi	71
Tablo 6.8. İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri	72
Tablo 6.9. İdeal ve İdeal Olmayan Noktalara Uzaklık Değerleri	73
Tablo 6.10. İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değerleri.....	73

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

A*	: İdeal Çözüm Seti
A-	: Negatif İdeal Çözüm Seti
C*	: İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değeri
S*	: İdeal Ayrım Ölçüsü
S-	: Negatif İdeal Ayrım Ölçüsü

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
AGV	: Automic Guided Vehicle (Kendinden Güdümlü Araç)
AR	: Agumented Reality (Arttırılmış Gerçeklik)
Ar-Ge	: Araştırma ve Geliştirme
BCG	: Boston Consulting Group
CBM	: Cloud Based Manufacturing (Bulut Tabanlı İmalat)
CPS	: Siber- Physical Systems (Siber Fiziksel Sistemler)
ÇKKV	: Çok Kriterli Karar Verme
EDI	: Electronic Data Interchange (Elektronik Veri Değişimi)
ERP	: Enterprise Resource Planning (Kurumsal Kaynak Planlama)
FIFO	: First In First Out (İlk Giren İlk Çıkar)
LIFO	: Last In First Out (Son Giren İlk Çıkar)
FEFO	: First Expire Date First Out (Son Kullanma Tarihi İlk Olan İlk Çıkar)
IOT	: Internet of Things (Nesnelerin İnterneti)
KOBİ	: Küçük Orta Ölçekli İşletme
MACHBETH	: Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (Kategori Tabanlı Değerlendirme Yöntemi)
MES	: Manufacturing Executing System (Üretim Yürütme Sistemi)
RFID	: Radio Frequency Identification (Radyo Frekanslı Tanımlama)
SAP	: Kurumsal Kaynak Planlama Programı
SEIKETSU	: Standartlaştırma
SEISO	: Temizlik
SEIRI	: Ayıklama
SEITON	: Düzenleme
SHITSUKE	: Disiplin
SMED	: Single Minute Exchange of Dies (Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi)
TOBB	: Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
TOPSIS	: Order Preference by Similarity to Ideal Solution (İdeal Çözüme Benzerlik ile Tercih Sıralaması Tekniği)
TÜSİAD	: Türk Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği
TPM	: Total Productive Maintenance (Toplam Verimli Bakım)
VSM	: Value Stream Mapping (Değer Akış Haritalama)

ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ İLE BEYAZ EŞYA SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİ 4.0 DİJİTAL DÖNÜŞÜM YETKİNLİK ANALİZİ

ÖZET

Nesnelerin interneti, büyük veri ve siber-fiziksel sistemlerden oluşan bir değerler bütünü olan Endüstri 4.0 üretim ortamında anlık verilerin toplanması ve analiz edilmesine olanak sağlayacaktır. Bununla birlikte, akıllı fabrikalar daha verimli bir üretim ortamı yaratarak kaliteyi artırırken maliyetleri düşürerek firmaların rekabet gücünü arttıracaktır.

Beyaz eşya sektöründe Türkiye'nin özellikle stratejik bir konumda olması, yerli ve yabancı birçok üretici için cazip hale gelmiştir. Önemli bir üretim ve ihracat pazarı niteliği taşıyan bu sektöre hizmet veren büyük çaplı firmalar kadar ana üreticileri besleyen KOBİ'lerin de üretime sağladıkları katkı dolayısıyla ana sanayi ile paralel olarak gelişmeleri kaçınılmazdır. Özellikle teknolojik gelişmelerden derinden etkilenen beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren firmaların Endüstri 4.0 dijital dönüşüm yolculuğunda başlangıç noktalarını belirlemeleri başarılı bir dönüşüm için atılması gereken ilk adımdır.

Bu çalışmada, firmaların dijital dönüşüm yetkinliklerinin ölçülmesi amacı ile bir sistem tasarlanmıştır. Dört ana kriter, yirmi üç alt kriterden oluşan bir anket ile beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren yedi firmada belirlenen kriterlerin puanlaması yapılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemleri MACHBETH ve TOPSIS kullanılarak firmaların dijital dönüşüm yetkinliklerinin ölçülmesi hedeflenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dijital Dönüşüm, Endüstri 4.0, MACHBETH, TOPSIS.

INDUSTRY 4.0 DIGITAL TRANSFORMATION COMPETENCE ANALYSIS IN THE WHITE GOOD SECTOR WITH THE MULTI CRITERIA DECISION METHODS

ABSTRACT

Industry 4.0, which includes internet of things, big data and cyber-physical systems; will enable companies to collect and analyze instant data in a production environment. Smart factories will help to increase productivity, efficiency and competitiveness by reducing costs while increasing quality.

Turkey, due to its strategic location, has become attractive in white goods household appliances sector for many foreign and local manufacturers. It is inevitable that the small-medium size companies, which feed the main producers as well as the large size companies that serve this sector to become important production and export market, shall develop in parallel with the main industry in accordance with their contribution to production. Especially in the white goods sector, which is deeply affected by technological developments, determining the starting points for the Industry 4.0 digital transformation is the first step towards a successful transformation.

In this study, a system is designed with aim of measuring the digital transformation competencies of companies. A questionnaire consists of four main criteria and twentythree sub-criteria applied to score the criteria set by seven companies operating in the white goods sector. Multi-criteria decision-making methods MACHBETH and TOPSIS were used together in order to measure companies' digital transformation competencies.

Keywords: Digital Transformation, Industry 4.0, MACHBETH, TOPSIS.

GİRİŞ

Üretim; insan yaşamının başladığı ilk günden bu yana, toplumların en önemli sorunlarından biri olmuştur. Yaşamak için tüketim, tüketim için de üretimin gerekli olduğundan yola çıkarak, hayatın sürdürülebilmesi ve istenilen standartlarda yaşayabilmek için üretmek mecburiyeti bulunmaktadır. Bu sebeple insanlığın her dönem en önemli uğraş alanı üretim olmuştur. Ancak tarihin her döneminde farklı bir bilgi birikimine ve teknolojiye sahip olan insanoğlu her dönemde farklı yöntemler kullanarak farklı nitelik ve nicelikte üretimde bulunmaya muvaffak olmuştur.

İnsanlık tarihine bakıldığında, öncelikle ilkel yaşam koşullarına sahip olunduğu, daha sonra yerleşik hayata geçilmesi ile birlikte tarım toplumlarının ortaya çıktığı, tarım toplumu yapısının uzun bir süre devam ettiği ve ardından ekonomik, siyasi ve toplumsal açıdan köklü bir değişimi beraberinde getiren sanayi devriminin ortaya çıktığı ve başta üretim şekli ve miktarı olmak üzere, insanlığı ilgilendiren tüm hususlarda önemli değişikliklere yol açtığı görülmektedir. Değişimin insanlık tarihinin başlangıcı ile başladığı ve her farklılığın da toplumların yaşam biçimini direk ve yoğun bir biçimde etkilediği bilinmektedir. Ancak bazı farklılıkların diğerlerinden ayrıldığı ve mahiyeti itibariyle çok daha radikal değişikliklere yol açtığı anlaşılmaktadır. Bu değişikliklerin en önemlilerinden bir tanesi de sanayi devrimi olarak insanlığın karşısına çıkmıştır.

Sanayi devrimi ile birlikte tüm dünyada daha önceden hiç görülmemiş olan üretim ve yaşam şekilleri ortaya çıkmıştır. Üretim için zorunluluk arz eden unsurların başında gelen enerji ile ilgili radikal bir değişim olan su buharının bulunması ile dünya üretim yapısı köklü bir değişimin içerisine girmiştir. Özellikle kitlesel üretime başlanması ve çeşitli enerji kaynaklarının üretimde kullanılmaya başlanması, yüksek miktartlı üretimi mümkün hale getirmiştir. Böylelikle bir yandan refah artışı meydana gelmiş, ancak diğer yandan da gelir dağılımı burjuva ve tüccarlar lehine değişiklik göstermiştir.

Sanayi devrimi tarımsal üretimin hakimiyetine son vermiş olmakla birlikte nihai bir üretim şeklinin ortaya çıkmasına neden olmamıştır. Aksine, sanayi devriminden itibaren başta kullanılan enerji türü ve üretim şekilleri olmak üzere iktisadi faaliyete yönelik her alanda sürekli bir değişim başlamıştır. Dolayısı ile sanayi devrimini de bir bütün olarak algılayabilme imkânı bulunmamaktadır.

Günümüzde sanayi devriminden sonraki dönemi inceleyen araştırmacıların sanayi devrimini dört ana parçada değerlendirdikleri ve hali hazırda dördüncü sanayi devrimi içerisinde bulunduğu görülmektedir. İlk üç sanayi devriminin her biri kendi üzerine düşen vazifeyi tamamlayarak ömrünü tamamlamış ve bir sonraki aşamaya evrilmiştir. Günümüzde ise çok kısa bir süre önce başladığına inanılan dördüncü sanayi devrimi evresi yaşanmaktadır. Endüstri 4.0 olarak da adlandırılan dördüncü sanayi devrimi, diğer üç sanayi devrimine göre çok daha farklı bir yapı arz etmektedir. Öncelikle ilk defa bir sanayi devrimi araçlarının bu derece insan hayatına doğrudan etkide bulunduğu söylenebilir. Bundan önceki devrimlerde odak nokta ekonomi ve üretim iken, Endüstri 4.0 da ekonomi kadar yaşam tarzı ve alışkanlıklarda etkilenmiştir. Ancak yine de en önemli değişimin iktisadi hayat ve üretim alanında gerçekleştiğini söylemek doğru olacaktır.

Endüstri 4.0 uygulamaları ve insanlığa olan getirilerinin değerlendirilmesi için henüz çok erken olduğu düşünülmektedir. Zira 2011 yılında başladığı kabul edilen Endüstri 4.0 dönemi, henüz başlangıç ve gelişme dönemindedir. Bu sebeple etki alanının hangi seviyelere ulaşacağı ve insan yaşamını ne derece farklılaştıracağını zaman gösterecektir. Ancak şimdiden Endüstri 4.0'ın getirilerinin, sanayi devriminin diğer uygulamalarından farklı olacağı ve çok daha radikal yenilikler ortaya çıkaracağı, kısa dönemli performansından anlaşılmaktadır. Dahası; endüstri 4.0'ın ne kadar süre devam edeceği ve yerini ne zaman Endüstri 5.0 a bırakacağı da merak konusudur.

Globalleşen dünya düzeninde; tüm ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de Endüstri 4.0 etkisini yoğun olarak göstermiştir. Son devrim; tam olarak sanayileşmesini tamamlayamamış ve ağırlıklı olarak sanayi toplumu olmak üzere yine de tarım toplumunun da özelliklerini barındıran Türkiye'de, iktisadi faaliyet şeklini önemli ölçüde etkilemiştir. Özellikle Türk ekonomisi içerisinde en yüksek pay sahibi olan KOBİ'lerde Endüstri 4.0'dan üzerine düşen payı almıştır. Türkiye'de KOBİ'ler

genelde emek yoğun işletme özelliği gösteren ve nispeten düşük teknoloji ile faaliyet gösteren işletme özelliğine sahiptir. Ancak modern üretim sistemleri bu tarz bir üretim yapısı ile üretime ve büyük ölçekli şirketlerle rekabete müsaade etmemektedir. İşte bu noktada Endüstri 4.0 uygulamaları ile birlikte KOBİ'ler de zorunlu bir değişim ve dönüşüm içerisine girmeye mecbur kalmışlardır. Bu değişime ayak uyduramayan veya değişimi geriden takip etmek zorunda kalan KOBİ'lerin orta ve uzun vadede ekonomik yaşam içerisinde kalabilme imkanı görünmemektedir.

Bu çalışmada Endüstri 4.0'ın Türkiye'de KOBİ'ler üzerindeki etkileri ve özellikle de beyaz eşya sektöründe faaliyet gösteren KOBİ'ler değerlendirilmiştir. Beyaz eşya sektörünün Türkiye'nin önemli bir üretim ve ihracat sektörü niteliği taşıması ve beyaz eşya üretiminde büyük çaplı firmalar kadar KOBİ tarzı firmaların da önemli bir yeri olması nedeniyle beyaz eşya sektörü inceleme konusu olarak seçilmiştir. Özellikle teknolojik yeniliklerden derinden etkilenen beyaz eşya sektörünün Endüstri 4.0 uygulamalarına olan eğilimi ve yatkınlığı son derece fazladır. Bu sebeple beyaz eşya sektörünün Endüstri 4.0 uygulamalarının etkilerinin incelenmesi ve dijital dönüşüm yetkinliğinin analiz edilmesi açısından en doğru sektörlerden bir tanesi olduğu düşünülmektedir.

1. SANAYİ DEVRİMLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

Sanayi kelimesi Latince kökenli bir terim olup aslı “industria” dır. Yine Fransızca’da “industrie” kelimesi aynı anlamda kullanılmaktadır. Sanayi; maden kaynakları ve çeşitli hammaddelerin enerji kaynakları kullanılarak geçerli bir ürün haline getirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen her türlü çaba olarak tanımlanması mümkündür [1]. Başka bir tanımlamaya göre de; “Kas gücünün egemen olduğu üretim şeklinden makine gücünün egemen olduğu üretim şekline geçiş olarak” tanımlamak mümkündür [2].

Tanımlardan da anlaşılacağı üzere sanayi faaliyetinin gerçekleşmesi için hammadde ve doğal kaynaklara, enerjiye ve bu üretim faktörlerini bir araya getirerek organize edebilecek bir girişimciye ihtiyaç bulunmaktadır. Yine işgücü unsuru da sanayinin vazgeçilmez bir ögesi niteliği taşımaktadır.

Sanayi Devrimi, gerek ekonomik ve sosyal, gerekse de siyasi ve kültürel alanlarda alışlageldik tüm alışkanlıkları ve ezberleri bozmuş ve yeni bir yaşam biçiminin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Özellikle bireysel üretimden kitlesel üretime geçilmesi ve kitlesel üretim araçlarının kullanılır olması, kişilerin bireycilikten toplu yaşama geçmelerine ve birlikte yaşamalarına yol açmıştır. Teknoloji ile birlikte yüksek miktartlı üretim mümkün hale gelmiş ve böylelikle ekonomik güç el değiştirerek burjuva ve tüccar sınıfına geçmiştir. Böylelikle özellikle Avrupa’da kilise ve feodal yapının güç kaybetmesi ve dini egemen güçlerin hegemonyasının kırılması durumu ortaya çıkmıştır.

Sanayi devrimi özellikle üretim ve yaşam biçimi değişikliği açısından gerçek bir devrim olmakla birlikte, kendi içinde de tam bir bütünlük arz etmemektedir. Özellikle kullanılan hammadde ve enerji kaynaklarının farklılığı, sanayi devriminin bölümler itibariyle algılanabilmesine olanak tanımaktadır. Bu açıdan bakıldığında sanayi devriminin ortaya çıktığı ilk günden bu yana dört adet sanayi devriminin gerçekleştiği ve halihazırda Endüstri 4.0 devriminde bulunduğu söylenebilir.

Endüstri 4.0'ın anlaşılabilmesi için ilk üç sanayi devriminin bilinmesi yerinde olacaktır.

1.1. Birinci Sanayi Devrimi (Endüstri 1.0)

Sanayi devrimi, insan ve hayvan gücü marifetiyle yapılan üretimin şekil değiştirmesi ve makine gücünün üretimde kullanılmasına geçiş sürecini ifade etmektedir. Sanayi devrimi ile birlikte üretim konusunda pek çok değişikliğin ortaya çıkmış olması ile birlikte en önemli değişikliğin kullanılan enerji ve makineler konusunda olduğu söylenmelidir. Makineler yoluyla üretim ve yoğun enerji kullanımı sayesinde toplumsal refah artışı meydana gelmiştir. Öyle ki genel anlamda nüfus artışı ortaya çıkmış olmakla birlikte bu artışın toplumsal refahı olumsuz yönde etkilemediği düşünülmektedir. Sanayi devriminin ilk aşamasındaki gelir dağılım adaletsizliği ve uygunsuz çalışma koşulları bir yana, genel toplumsal zenginliğin sanayi devrimi ile arttığı söylenebilir.

18. yüzyılın ikinci dönemi ve 19. Yüzyılın ilk dönemi özellikle Avrupa'da önemli değişikliklere sahne olmuştur. Bu açıdan Fransız Devrimi ve Endüstri Devrimi, bu değişikliklerin en önemlilerindendir. Rönesans ve reform hareketleri, okuryazarlığın artması, değişime karşı direncin azalması ve bu değişim sürecinin o tarihlerde tüm topluma egemen olan dini kurumlara da sıçramış olması, köklü değişimlerin ortaya çıkmasını kolaylaştırmıştır.

Sanayi devriminin ortaya çıkmasına neden olan düşünsel nedenlerin yanı sıra, endüstriye, ekonomiye ve teknolojiye yönelik de pek çok değişiklik ortaya çıkmıştır. Aşağıda yer alan değişiklikler sanayi devriminin en önemli sebepleri arasında yer almaktadır [3].

- Avrupa sınırları içerisinde 16. Yüzyıldan itibaren hızlı bir nüfus artışı görülmüştür.
- Tarımsal gelişim hızı ile birlikte nüfusun kentlere doğru yoğunlaşması sağlandı ve sanayi çalışanı olabilecek yoğun bir kent nüfusu ortaya çıktı.
- Teknoloji artışı halkın refah seviyesini olumlu yönde etkiledi ve eskiden lüks tüketim malları olarak kabul edilen temel ürünler, orta seviyede kişilerin ulaşabileceği ürünler haline geldi. Bu durum da ürünlere olan talebi canlandırdı.

- Avrupa ülkelerinin sömürgeci anlayışının artmasından dolayı sömürülen ülkelerdeki zenginlikler Avrupa'ya getirildi, bu mallar işlendi ve tekrar sömürgelere satıldı.
- Özellikle burjuvazinin güçlenmesi ve orta sınıfın ortaya çıkması, iktisadi birikime neden oldu.
- Ulaşım ve teknolojik gelişmeler, köklü değişiklikleri mümkün hale getirdi.

Sanayi devrimi öncelikle İngiltere'de ortaya çıkmıştır. Sanayi devriminin İngiltere'de ortaya çıkmasının en önemli sebepleri olarak; diğer Avrupa ülkelerinden daha fazla huzur ve asayiş imkanının olması, ülkenin diğer Avrupa ülkelerinin çoğundan farklı olarak tek ve güçlü bir merkezi otorite vasıtasıyla yönetiliyor olması, İngiltere'nin sanayi değişimi için ihtiyaç duyulan hammadde ve pazara yakın oluşudur. Ayrıca İngiltere'nin ihtiyaç duyulan kömür ve demiri topraklarında barındırması, sanayi devriminin ihtiyaç duyduğu temel enerji ve hammadde ihtiyacının karşılanmasını sağlamıştır. Yine İngiltere'de diğer ülkelere nazaran düşünsel ortamın rahat oluşu ve daha rahat araştırma yapılabilmesi, devrimin İngiltere'de başlamasını sağlamıştır. İhtiyaç duyulan nitelikli elemanın karşılanması açısından da İngiltere'de o tarihlerde teknik elemanların yurt dışına çıkışlarının yasaklanması etkili olmuştur [4].

Endüstri devriminden önce İngiltere'de tarıma ve zanaata dayalı bir üretim şekli bulunmaktaydı. Ancak James Watt isimli bir İskoç'un buhar makinesini icat etmesi ve bu makineyi üretimde kullanması ile tarımdan sanayiye çok hızlı bir geçiş yaşanmıştır. Bu açıdan bakıldığında zaten sanayi devrimine şartlar açısından hazır olan İngiltere'nin enerji sorununu da çözmesi ile birlikte sanayi devrimini yaşadığı söylenebilir [5].

Dünya tarihi içerisinde en önemli ekonomik, sosyal ve siyasi içerikli olayların başında gelen birinci sanayi devriminin çok önemli sonuçları olmuştur. Bu sonuçlar maddeler halinde şu şekilde sayılabilir;

- Yoğun üretim yapısına geçilmesi ile birlikte hammadde, kaynak ve pazar ihtiyacı artış göstermiştir. Bu sebeple sömürgecilik faaliyetlerine ağırlık verilmiştir. Özellikle devletler arasında gruplaşmanın olması ve ekonomik çıkar konusunda karşı karşıya gelinmesi neticesinde 1. Dünya Savaşı meydana gelmiştir.

- Üretim yapısında radikal değişiklikler ortaya çıkmıştır. Sanayi devriminden önce var olan küçük üretim yapıları ve atölyeler ortadan kalkmış, bunların yerini büyük tezgâhlar ve fabrikalar almıştır. Böylelikle üretimde verimlilik artmış, maliyetler düşmüş ve yüksek miktarda üretime imkân sağlanmıştır.
- Üretim artışı istihdam artışını da beraberinde getirmiş ve işçi sınıfı ortaya çıkmıştır.
- Teknoloji yalnızca sanayi alanında değil, aynı zamanda tarımsal faaliyetlerde de kullanılır olmuş, böylelikle tarımsal verimlilikte de artış meydana gelmiştir.
- Üretimin ve ticaretin gelişmesi ile birlikte ulaşım olan ihtiyaç artış göstermiştir. Bu sebeple yüklü miktarla malzeme taşımak amacıyla buhar ile çalışabilen gemiler, trenler ve benzeri ulaşım araçlarından faydalanılır olmuştur. Böylelikle ulaşım konusunda da radikal değişiklikler meydana gelmiştir.
- Sanayi devrimi demografik yapı üzerinde de değişikliklere yol açmış ve köyden kentlere göç başlamıştır. Özellikle sanayi alanında çok sayıda işgücüne ihtiyaç duyulması bu süreci hızlandırmıştır. Kent nüfusunun artması ise şehircilik faaliyetlerine olan ihtiyacın artmasına neden olmuştur.
- Daha önce kullanılmayan kapitalizm, emperyalizm ve sosyalizm gibi kavramlar ortaya çıkmıştır.
- Yaşam koşullarındaki iyileşme ile paralel olarak ortalama yaşam süresi ve nüfus artışı meydana gelmiştir.

Görüldüğü üzere teknolojik ve ekonomik kökenli bir başlangıca sahip olan 1. Sanayi Devrimi, neticeleri itibariyle çok daha geniş bir etki alanına sahip olmuştur. Bu etki özellikle insan yaşamını ilgilendiren konularda daha belirgin olarak görülmüştür. Tarımsal işgücünün azalarak sanayi sektöründe çalışan işgücünün artması, güçlü bir işçi sınıfının ortaya çıkmasına neden olmuş ve özellikle devrimin ilk aşamasında ortaya çıkan gayri insani çalışma koşullarına yönelik olarak oluşan işçi sınıfı hareketi güçlü bir ideolojik yapıya bürünmüştür.

1.2. İkinci Sanayi Devrimi (Endüstri 2.0)

Birinci sanayi devrimi ile birlikte tarım ağırlıklı geleneksel toplumlar yerini bir daha almamak üzere sanayi toplumuna bırakmışlar ve gün geçtikçe tarımın toplam ekonomi içerisindeki ağırlığı azalır duruma gelmiştir. Birinci sanayi devriminden

sonra teknoloji hızlı bir şekilde ilerlemiş, çok sayıda fabrika kurulmuş ve mal ve hizmet üretimi niteliksel ve niceliksel olarak artmıştır. İngiltere’de başlayan Sanayi Devrimi öncelikle tüm Avrupa kıtasını ve daha sonra Kuzey Amerika ile birlikte tüm dünyaya yayılmıştır [6].

1870 - 1914 yılları arasında kapsadığı düşünülen ikinci sanayi devrimine neden olan en önemli hususların başında işgücü arzının çok yüksek seviyede oluşu, doğal kaynakların üretime uygun halde bulunuşu, üretime yönelik güçlü hükümet politikaları, yeni mucitler ve gelişen ulaşım ağları olarak gösterilebilir. Aynı zamanda büyük çaplı göçler de iki sanayi devriminin önemli nedenleri arasında yer almaktadır. Yine makineleşmeye dayalı üretim uygulamaları nedeniyle pek çok sektörde yoğun işsizliğin ortaya çıkması da aynı döneme rastlamaktadır.

İkinci sanayi devrimine yol açan en önemli belirleyicileri başta petrol olmak üzere petrol türevi ürünlerin üretimde kullanılması, elektriğin sanayi de kullanılması, otomotiv sektöründe meydana gelen olağanüstü gelişmeler ve içten yanmalı motorların icadı olmuştur. Yine ikinci sanayi devrimini ilkinden ayıran en önemli özelliklerin başında iletişim konusunda ortaya çıkan gelişmeler olmuştur. Telgraf ve radyonun geliştirilerek günlük hayat içerisinde kullanılmaya başlanması bu açıdan önemlidir [6].

İkinci sanayi devrimi döneminde işgücünün genel seyrine bakıldığında sendikal faaliyetlerin arttığı, işçi sınıfı aleyhine olan uygulamalara karşı bir takım çalışmalar yapıldığı ve beyaz yakalı çalışanların arttığı bir dönem görülmektedir. Ancak yine de sanayi devriminin getirdiği uygunsuz çalışma koşulları ve uzun mesai saatleri sorunlarının çözüldüğünü söyleyebilme imkânı bulunmamaktadır.

İkinci sanayi devrimi genel olarak incelendiğinde doğal kaynakların ve tükenbilir enerjinin plansızca tüketildiği zararlı bir dönem olduğu sonucuna varılmaktadır. İlk ve en büyük amacın daha fazla üretim olmasından ve o tarihlerde hammadde ve enerji açısından henüz tükenbilirlik kavramının yeterince anlaşılamamış olmasından dolayı hammadde ve enerji kullanımına karşı gerekli hassasiyet gösterilmemiştir. Özellikle fazla karbon kullanımının o dönemde çok yüksek seviyede olduğu ve tüm dünyayı tehdit eden küresel ısınma sorununun ikinci sanayi devrimi kökenli olduğu düşünülmektedir.

1.3. Üçüncü Sanayi Devrimi (Endüstri 3.0)

Üçüncü Sanayi Devrimini ilk iki sanayi devriminden ayıran en önemli farklılık kullanılan enerji kaynakları ile ilgilidir. Birinci Sanayi Devriminin enerji kaynakları su ve buhar gücü, ikinci sanayi devriminin enerji kaynakları petrol ve elektrik iken üçüncü sanayi devriminde yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve buna benzer yenilenme imkanı olan enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır. Üçüncü sanayi devriminde yenilenebilir enerjiye ağırlık verilmesinin altında yatan en önemli sebebin, ilk iki sanayi devrimi neticesinde doğal kaynaklar ile tükenebilir enerjinin hızla azaldığının ve hem maliyet açısından hem de gelecekte ihtiyaç duyulan enerjinin karşılanması açısından sürdürülebilir bir durum olamayacağının anlaşılması olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple çevresel koruma ve enerji tasarrufu anlayışı üçüncü sanayi devrimini ortaya çıkarmıştır.

Üçüncü Sanayi Devrimi'nde ön plana çıkan sürdürülebilirlik kavramı, özellikle uzun vadede üretimin ve yaşamın devam ettirilebilmesi konusunda oldukça önemlidir. Tarım toplumu döneminde dünya kaynaklarının oransal olarak az bir kısmının kullanılmış olmasından sonra birinci ve ikinci sanayi devriminde bu kaynakların önemli bir bölümünün kullanılmış olması ve doğal zararların ortaya çıkması, üçüncü sanayi devrimini zorunlu kılmıştır. Özellikle yenilenebilir enerji kullanımı konusunda yeterli gelişme sağlanamadığı göz önünde bulundurulur ise dünyanın tüm bölgelerinde üçüncü sanayi devriminin gerektiği gibi yaşandığını söyleyebilmek mümkün değildir. Teknoloji sayesinde global bir köy haline gelen dünyada yine de tam bir homojenliğin sağlandığından bahsedilemeyecektir. Özellikle teknolojik gelişme farklılıkları ve bölgesel gelir adaletsizlikleri bu durumun en önemli sebeplerinden ikisini oluşturmaktadır [7].

2. DÖRDÜNCÜ SANAYİ DEVRİMİ VE ENDÜSTRİ 4.0 KAVRAMI

İlk sanayi devriminden bu yana gerek üretim şekilleri ve miktarında, gerekse de teknolojiye bağlı olarak yaşam biçimleri ve önceliklerde önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Özellikle her bir sanayi devrimi, sahip olduğu üretim yapısı ve çıktıları ile bir diğerine göre farklılık göstermiştir. Ancak henüz başlangıç aşamasında olduğu kabul edilen Endüstri 4.0, nitelik olarak diğer üç sanayi devrimine göre farklılık göstermektedir. Özellikle Endüstri 4.0'dan hemen önce yaygınlaşan internet ve bilişim teknolojisi, tüm bilginin eşzamanlı olarak dünya çapında paylaşılmasını sağlamış ve gelişme hızı her geçen gün artış göstermiştir. Aynı zamanda çok uluslu büyük şirketlerin üretim sistemlerindeki gelişmeler, bir önceki endüstri dönemi içerisinde değerlendirilemeyecek kadar radikalleşmiş ve ayrı bir devrim olarak adlandırılmasına neden olmuştur. Özellikle ortalama yaşam sürelerinin artması, genç ölümlerin azalması ve buna bağlı olarak artan ihtiyaçların karşılanması adına üretim ve yaşam şekillerinde ciddi değişimler ortaya çıkmıştır [8]. Tüm bu değişimler günümüzde Endüstri 4.0 olarak adlandırılmıştır.

2.1. Endüstri 4.0 Kavramının Ortaya Çıkışı

Endüstri 4.0, akıllı fabrika olarak nitelendirilebilmesi mümkün olan yapılar ortaya koyabilmek amacıyla, imalat teknolojilerine yönelik özellikle otomasyon ve veri değişimi alanlarında, siber-fiziksel yapıları, nesnelerin interneti kavramını ve bulut bilişim sistemlerini günümüz şartlarına uygun duruma getirilmesi olarak tanımlanabilir [9]. Dördüncü Sanayi Devrimi anlamında kullanılan 'Endüstri 4.0' ifadesi ilk olarak, 2011 yılında Hannover Fuarında kullanılmıştır. Alman Hükümeti'nce 2012 yılında oluşturulan Endüstri 4.0 çalışma grubunun 2013 yılında hazırladığı nihai rapor ile proje detaylandırılmıştır. Almanya'nın özellikle sanayi anlamında dünya ekonomisi içerisindeki ağırlığı ve araştırma ve geliştirme çalışmalarına verdiği önem göz önünde bulundurulduğunda, Endüstri 4.0 kavramının Almanya'da ortaya çıkması normal karşılanmalıdır.

2.2. Endüstri 4.0'da Yatay ve Dikey Entegrasyon Uygulamaları

Endüstri 4.0 da yatay ve dikey entegrasyon uygulamaları ile işletmelerin geriye ve ileriye doğru yatay ve dikey bütünleşmeyi sağlayarak büyümeleri amaçlanır. Bu anlamda entegrasyonun büyüme ile ilgili olduğu söylenmelidir. İşletmeler çeşitli birleşme ve bütünleşmeler ile daha fazla üretimde bulunmak ve pazar içerisinde daha fazla pay sahibi olmak isterler.

Yatay entegrasyon uygulamalarında işletmeler, kendileri ile aynı veya benzer müşteri portföyüne sahip olan diğer işletmeler ile birleşirler. Özellikle pazarda yeni olan ve henüz yeterli müşterisi bulunmayan işletmeler bu yolu tercih eder ve pazar paylarını artırmaya çalışırlar. Özellikle rekabetin yüksek olduğu, ürünün modasının hızlı geçebileceği düşünülen sektörlerde yatay entegrasyona daha sık rastlanır. Yatay entegrasyon ile belirsizlikler azalır, araştırma ve geliştirme faaliyetlerine daha fazla bütçe ayrılabilir ve pazar içerisinde daha güçlü bir konuma gelinebilir. Aynı zamanda yatay entegrasyonda işletmelerin sahip olduğu tüm araç, gereç ve makinelerin kullanım oranı da artar. Bu durum da maliyetlerin düşmesini sağlar [10].

Dikey entegrasyonda ise işletmeler aynı sektör içerisinde fakat farklı alt sektörlerde bulunan işletmeler ile entegrasyona girerler. Genelde bir ürünün üretim sürecinde pek çok işletme farklı alt ürünler üreterek nihai üretime katkıda bulunurlar. İşte bu noktada işletmeler, ya kendilerinden önceki üretim safhalarını gerçekleştiren işletmelerle, ya kendilerinden sonraki üretim safhalarını gerçekleştiren işletmelerle, yada her ikisi ile birlikte entegrasyon sağlayarak büyüme yoluna giderler. Kendilerinden önceki işletmeler ile yapılan entegrasyon geriye doğru entegrasyon, kendilerinden sonraki işletmeler ile yapılan entegrasyon ileri doğru entegrasyon ve her iki türlü işletme ile yapılan entegrasyon ise dengeli entegrasyon olarak adlandırılmaktadır [11].

2.3. Endüstri 4.0 Teknolojileri

Endüstri 4.0 çok geniş kapsamlı bir terimi ifade etmektedir. Gerek etki alanı gerekse de geleceğe yönelik vaatleri, çok sayıda yan unsurun birlikte kullanılmasını gerektirmektedir. Aşağıda yer alan unsurlar, daha önceki endüstri devrimlerinde

görölmeyen ve Endüstri 4.0 sayesinde üretim hayatına ve yaşam alanlarına derinden etki etmektedir.

2.3.1. Nesnelerin interneti (IOT)

IOT (Internet of Things) nesnelerin interneti, fiziksel dünyadaki nesnelerin, bunların içinde gömölü veya yanında bulunan sensörlerin kablolu ya da kablosuz bağlantılar aracılığı ile bağlanmasına imkan veren bir sistemi ifade eder [12]. İnsanlık tarihi açısından değeriendirildiğinde henüz çok kısa bir süredir insan hayatı içerisinde yer alan internet, günümüzde vazgeçilmez uygulamaların başında gelmektedir. Başta cep telefonu olmak üzere elektronik unsurların akıllı hale gelmesi ve bu tür sistemlerde kullanılan yapay zeka düzeyinin giderek gelişmesi bu cihazların arasındaki etkileşimi ve iletişimi önemli ölçüde arttırmıştır [13].

Yakın geçmişte nesnelerin interneti uygulaması olarak kabul edilebilecek örnekler endüstriyel cihazların bir ağa bağlanması şeklinde tanımlanırken bundan sonraki süreçte nesnelerin interneti uygulamalarının sadece endüstriyel cihazlar ile sınırlı kalmayıp günlük yaşamda yer alan tüm nesnelere doğru genişleyeceği söylenebilir. Bunlar arasında vanalar, aktüatörler, kontrol panelleri, tezgahlar, motorlar, taşıtlar, giyilebilir cihazlar, sağlık aygıtları gibi çok çeşitli unsurlar sayılabilir. Nesnelerin interneti yaşam ve çalışma alanlarının her noktasında veri toplanmasına olanak sağlar, akıllı telefon, tablet, taşınabilir bilgisayar, kontrol paneli veya giyilebilir teknolojik cihazlar sayesinde çalışanların da nesnelerin interneti içinde yer alan bileşenler olacağı söylenebilir [12].

2.3.2. Büyük veri ve analitikler

Nesnelerin interneti uygulamaları ile ortaya çok büyük miktarda veri çıkmaktadır. Özellikle veri aktarım hızının artması ile toplam veri miktarı her saniye çoğalmaktadır. Ancak bu ham verilerin işe yarar hale gelebilmesi için veri madenciliği yöntemi ile süzgeçten geçirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Böylelikle henüz kullanılamaz durumda olan ham bilgi yığınları sınıflandırılarak ihtiyaç duyulan konularda faydalanılabilir bir duruma gelir. Aynı zamanda çok sayıda vericiden elde edilen bilgilerin doğruluk ve güvenilirliğine yönelik de bir takım uygulamalara ihtiyaç bulunmaktadır. Zira aynı konuda farklı bilgilerin

bulunması, hangi verinin doğru olduğuna ve ne derece güvenilirliğe sahip bulunduğuna yönelik soru işaretlerini de beraberinde getirecektir [14].

Verilerin işlenmesinden sonra ikinci aşamada verilerin saklanması işlemi bulunmaktadır. Endüstri 4.0 uygulamalarında verilerin çok fazla olduğundan saklanması pek kolay değildir. Aynı zamanda bu kadar verinin saklanabilmesi için güçlü bir sistem ve altyapı gereklidir. Bu sistemin oluşturulması ve altyapının kurulabilmesi ise yüksek maliyet içeren işlerdir. Dolayısı ile verilerin mümkün olduğunca sınıflandırılarak ihtiyaç duyulan kısmının depolanmasının sağlanması, maliyet fayda ilişkisi açısından vazgeçilmez bir uygulama olmaktadır. Aksi takdirde yüksek maliyetle tüm veriler saklanmaya çalışılacak ve böylelikle gereksiz bir zaman ve nakit kaybı ortaya çıkacaktır. Yine doğru verilerin yorumlamaya tabi tutulması ile tüm veriler değerlendirilmek zorunda kalmayacak ve emek zayıfatının önüne geçilmiş olunacaktır.

2.3.3. Akıllı makineler

Endüstri 4.0'ın sunduğu en önemli olanakların başında akıllı makineler ve akıllı robotlar gelmektedir. Akıllı makineler üretim sürecinde birbiriyle iletişim kurabilen, mevcut duruma göre hareket kabiliyetine sahip, herhangi bir insan gücü gerektirmeyen ve en önemlisi hata payını sıfıra en yakın noktaya indirebilen teknoloji ürünleridir. Akıllı makineler yalnızca üretim yapmaz aynı zamanda tüm üretim sürecini de kontrol ederler. Böylelikle herhangi bir aksaklığın ortaya çıkması durumunda eşzamanlı olarak tespit edilmesi ve çözüme kavuşturulması mümkün olacaktır. Tüm bu işlemler gerçekleşirken herhangi bir insan emeğine ihtiyaç olmaması ise makinelerin akıllılık özelliğini göstermektedir [15].

Akıllı makineler ve akıllı robotların bir üst versiyonu olarak akıllı tesislerden bahsetmek gerekecektir. Endüstri 4.0 ile birlikte işgücünün mümkün olduğunca geri çekilmesi, yeni tesislerin farklı bir felsefe ile kurulmasını sağlamıştır. Yeni kurulan akıllı tesislerde iş süreçleri tamamen farklı bir şekilde dizayn edilmiş ve makineler arasında koordinasyonun yine bilgisayar sistemleri ve yazılımlar vasıtasıyla kurulduğu tesisler inşa edilmiştir. Böylelikle işgücü ya tamamen üretimden çekilmiş ya da vasıf ve görev değiştirmiştir. Özellikle otomasyon sistemlerinin üretimin

tamamına yakınında rol alması ve sensörler ile yazılımlar sayesinde üretim birimleri arasında koordinasyonun sağlanması önemli bir yenilik olarak ortaya çıkmıştır [16].

2.3.4. Bulut bilişim

Bulut tabanlı imalat (CBM) veya bulut bilişim; “Müşteri tarafından oluşturulan değişken talebe yanıt vermek için verimliliği artıran, ürün ömrü maliyetlerini düşüren ve optimum kaynak tahsisine izin veren, geçici, yeniden yapılandırılabilir siber-fiziksel üretim hatları oluşturmak için paylaşılan çeşitlendirilmiş ve dağıtılan üretim kaynaklarının bir paylaşım kümesine talep üzerine erişimden yararlanan bir ağa bağlı üretim modeli olarak” tanımlanabilir [15].

Bulut bilişim, bilişim teknolojilerine ait her türlü çözümün bir ürün olmaktan öte bir hizmet olarak sunulmasıdır. Burada hizmet ile bahsedilen sadece donanımlar değil yazılımların da hizmet olarak alınabileceğidir. Küresel yazılım üreticilerinin dünya üzerinde çeşitli stratejik noktalarda bulut bilişim veri merkezleri bulunmaktadır ve buradan hizmet sunulmaktadır. Örneğin Alman yazılım üreticisi SAP, veri merkezleri ile ilgili bir internet sitesi hazırlamıştır ve buradan bulut bilişim ve veri merkezlerini tanıtmaktadır. Bulut bilişimde istenen en önemli konu istenen hizmetin en hızlı şekilde alınmasıdır. KOBİ’ler üzerinde yapılan bir araştırmaya göre, KOBİ’lerin bulut bilişim kullanması, kendi sistemlerini kurmasına göre 40 kat daha az maliyetli olarak belirlenmiştir. İşletmelerin %70’ i bulut bilişime geçtikten sonra elde edilen maddi avantajı işletmelerine geri kazandırmıştır. Bu konudaki en büyük sorun verinin başka bir ülkede saklanacak olması ve güvenlik sorunudur.

Bulut bilişim büyük veri ile birlikte dijital dönüşümün en önemli unsurları olarak söylenebilir. Bu teknolojilerin ortak noktası veri ve veri yönetim bilimidir. Konuyu takip eden olmak yerine geliştiren olabilmek için veri bilimi konusunda uzmanlaşmak gereklidir. Endüstri 4.0 bir siber devrimdir ve bu devrimin öncüsü olan ülkeler sadece ürün ve hizmet geliştirmekle kalmamakta aynı zamanda veri bilimine gereken önemi göstermektedir [17].

2.3.5. Siber fiziksel sistemler

CPS (Siber Pyhsical Systems) siber fiziksel sistemler, fiziksel unsurlara entegre edilen bilgisayar teknolojileri sayesinde yeni nesil mühendislik uygulamalarını tanımlayan, disiplinler arası bir terimdir. Siber fiziksel sistemler fiziki dünya ile siber alanı internet vasıtası ile birbirine bağlamakla yükümlüdür. İnternet bağlantılı bir sistem olduğu için verilere doğrudan ulaşabilmekte ve bu verileri işleyerek, üretim ve lojistik gibi faaliyetlerde kullanabilmektedir. Siber fiziksel sistemlerin etkin çalışabilmesi için gerçek zamanlı verilerin elde edilmesi çok önemlidir. Gerçek zamanlı veriler siber fiziksel sistemlerde işlenerek gereksinimler ile anlık olarak eşleştirilebilmekte ve en yüksek faydayı sağlayan çözüm belirlenerek uygulanabilmektedir [13].

Akıllı üretim sistemleri içerisinde yoğun olarak kullanılan siber fiziksel sistemlerin tek faydası üretim üzerine değildir. Siber fiziksel sistemler aynı zamanda araştırma ve geliştirme çalışmaları, pazarlama ve satış çabaları üzerinde de etkilidirler. Özellikle ar-ge çalışmaları çoğunlukla deneme yanılma metoduna göre faaliyet gösterir. Ancak her bir yanılma, işletmeler için önemli bir maliyet anlamına gelmektedir. Siber fiziksel sistemler sayesinde ise mümkün olduğunca simülasyon ve benzeri yöntemler kullanılır ve tüm Ar-Ge aşamasında fiziksel uygulamalara ihtiyaç bırakmaz. Böylelikle ar-ge çalışmalarının toplam maliyetinde düşüş yaşanır. Yine fizibilite çalışmaları da simülasyon yardımı ile düşük maliyetlerle çok daha kısa sürede gerçekleştirilebilir [18].

2.3.6. Endüstriyel robotlar

Endüstriyel robotlar, artık işi insanlardan daha ucuza, daha doğru ve güvenilir bir şekilde yapmak üzere yaygın şekilde kullanılmaktadır. İnsan sağlığına zararlı, tehlikeli veya tekrarlı işlerde önemli katkıları olmaktadır. Endüstriyel robotlar, otonom robotlar veya akıllı robotlar olarak da adlandırılmaktadırlar. Otonom bir robot, kendisi ve çevresi hakkında veri toplayabilir, insan müdahalesi olmadan uzun süre çalışabilir, insan müdahalesine gerek duymaksızın çalışma ortamının tamamına veya bir kısmına hareket edebilir. El ve kol gibi organlarını çevreye etki edecek biçimde hareket ettirebilir ve tasarım özelliğinin bir parçası olmadığı sürece

insanlara, çevresine ve kendisine zarar verici davranışlardan kaçınır. İnsanlar ile bir arada güvenli bir şekilde çalışabilirler.

Tam otonomi için ilk şart bir robotun kendisi ile ilgilenme ve kendisine bakım yapabilme yeteneğidir. Robotlarda kendi kendine bakım yapabilmesi kendi iç durumunu algılaması üzerinedir. Bunun için iç algısal sensörler termal, optik ve dokunsal algılama özellikli veya elektriksel niteliktedir. Bununla birlikte otonom robotların görevlerini yerine getirebilmesi için çevresel algılayıcıya da sahip olması gerekir. Bunun için dış algısal sensörler olarak, elektromanyetik spektrum, ses dokunma, sıcaklık ve mesafe ölçen sensör veya kamera sistemleri sayılabilir.

Akıllı fabrikaların önemli bir unsuru olan otonom robot, kendi kararlarını üretip seçtiği eylemleri yerine getirebilirken diğer yandan ağ üzerinden iletilen komutları yerine getirerek istenene cevap verebilir ve kendi durumu hakkında bilgi verebilir. Bunun yanı sıra akıllı ürün ve diğer sistemler ile haberleşerek birlikte çalıştığı operatörlerin işlerini kolaylaştırır [12].

2.3.7. Üç boyutlu yazıcılar

Endüstri 4.0 uygulamalarının üretim hayatına kazandırdığı en önemli buluşlardan bir tanesi üç boyutlu yazıcılardır. Üç boyutlu yazıcılar, bilgisayar destekli tasarım programları kullanılarak başka bir kalıp veya modele gereksinim duymaksızın üretim yapabilen yazıcılardır. Üç boyutlu yazıcılar üretilecek olan nesneyi sanal katmanlara ayırırlar ve kullanılacak malzeme ile her bir katmanı oluşturarak en sonunda da nesneyi elde ederler.

Katmanlı üretim teknolojisi tasarım kısıtlarını kaldırarak karmaşık geometrili üretimi zor parçaların kolaylıkla üretilmesine olanak sağlar. Hızlı prototiplemeye imkan sağlar, karmaşık parçaların üretilmesini sağlar, tasarım sürecinde harcanan zamanı azaltır, tasarım ve imalatın bütünleşmesini sağlar, imalatla kullanılan makinelerin sayısını ve ihtiyaç duyulan yatırım miktarını azaltır. Fonksiyonel ürünler geliştirilmesine ve üretilmesine destek verir. Yeni malzeme türleri ile birlikte gelişen 3B baskı teknolojisinin medikal alanlar dahil olmak üzere her türlü fiziksel parçanın üretilmesine imkan sağlayacağı öngörülmektedir.

Katmanlı üretimin Endüstri 4.0'ın çatısını oluşturan bir teknoloji olarak kabul edilmesinin sebebi, bulut bilişim teknolojisi ile birlikte kullanıldığında herhangi bir 3 boyutlu tasarımının dünyanın herhangi bir yerindeki 3 boyutlu yazıcı hizmet noktasına gönderilerek uzaktan erişim ile orada imal edilmesinin mümkün olmasıdır [12].

2.3.8. Sanal gerçeklik

Sanal gerçeklik birbirine taban tabana zıt iki kelimeden oluşan bir terimdir. Sanal gerçeklik var olması düşünülen bir fiziksel değerin henüz maddesel olarak ortaya konmadan değerlendirilebilmesine yarayan bir anlayışa sahiptir. Özellikle büyük çaplı fabrika ve tesislerin henüz kurulmadan önce değerlendirmeye tabi tutulması, verimlilik ve fayda maliyet açısından test edilmesi sanal gerçeklik uygulamaları ile mümkündür. Ayrıca üretilen ürünlerin potansiyel müşteriler ile buluşma sonuçlarının da aynı şekilde deneyimlenmesi imkânı bulunmaktadır. Böylelikle çok büyük çaplı yatırımların önceden sonuçları öngörülerek yapılması ve sonucunda doğru yatırımların yapılması sağlanacaktır. Yine bu derece temel değişikliklerden ziyade opsiyonel olarak kabul edilen şekil, renk ve benzeri değişikliklerin de sanal gerçeklik uygulamaları ile görülür olması sağlanarak daha kolay değerlendirilme şansı olacaktır [19].

Sanal gerçeklik bir diğer ifade ile artırılmış gerçeklik olarak adlandırılmaktadır. Gerçekten de fiziki yapının sanal verilerle desteklenmesi neticesinde daha fazla fiziksel veriye hâkim olunması durumu ortaya çıkmaktadır. Sanal gerçeklik uygulamaları ile elde edinilebilecek olan kazanımlar ve sanal gerçekliğin özellikleri şu şekildedir [20]:

- Sanal gerçeklik sayesinde endüstriyel tasarımcılar ürünlerini henüz bitirmeden önce test edebilir, tasarım ve işleyişini görebilme fırsatına sahip olurlar.
- Sanal gerçeklik ile müşteriler henüz ürün ile fiziksel olarak tanışmadan ürünleri ön izleme ile görebilirler.
- Sanal gerçeklik, sanal katılımcıların konferans yolu ile diğer işbirlikçiler arasında diyalogu sağlayabilir. Böylelikle sanki aynı ortamda bulunuyormuşçasına görüş beyan edilebilir ve tartışma yapılabilir.

- Sanal gerçeklik ile montaj, bakım ve benzeri uygulamalar eskisine oranla çok daha basitleştirilerek yapılabilir. Böylelikle hem uygulamalarda etkinlik sağlanır, hem de çok daha kısa sürede işlemler neticelendirilmiş olur.
- Sanal gerçeklik içerisinde üretilecek olan ürünlerin tek kısıtlayıcı yönü kişilerin hayal dünyasıdır. Ürünler öncelikle sanal ortamda üretileceğinden dolayı her türlü ürünün simüle edilmesi mümkün olacaktır.
- Sanal gerçeklik olarak değerlendirilen bu teknoloji türünde, gerçek ve sanal arasındaki net ayrım ortadan kalkar ve görme, hissetme, dokunma, koklama, duyma gibi.

2.3.9. Veri güvenliği

Endüstri 4.0, nesnelerin interneti gibi araçlarla bağlı olmayanı bağlantılı hale getirmeyi hedefler. Artan bağlantılı akıllı nesne sayısı ile birlikte daha fazla gömülü cihaz kritik uygulamalarda veri güvenliği ile ilgili alınması gereken önlemleri aklı getirmektedir. Gizli olan ticari sır niteliğindeki işletme verilerinin kablosuz yerel ağlar ve internet üzerinde dolaşır hale gelmesi geleceğin fabrikaları için önlem alınması gereken bir risk alanı olmaktadır. Bu bağlamda alınacak siber güvenlik önlemleri, her akıllı ve bağlantılı siber fiziksel sistemin kendini koruması ve genel olarak nesnelerin internetinin bir bütün olarak korunması olacaktır.

Henüz endüstriyel internet sistemleri, istenen fonksiyonel ihtiyaçları karşılayacak, güvenlik ve gizlilik risklerini ortadan kaldıracak kadar gelişmiş değildir. Geçmişte önce sistemler ve entegrasyon gelişti sonrasında gelen saldırılara karşı önlemler oluşturulmaya çalışıldı. Bunun bir devamı olan endüstriyel internet sistemleri de gelecek saldırılara karşı henüz savunmasız haldedir. Çalışma zamanı saldırılarına karşı savunmasız olan siber fiziksel sistemler için güvenlik mekanizmalarını geliştirmek ve tasarlamak için daha fazla bilimsel çalışmaya ve teknolojik araştırmaya ihtiyaç vardır. Bununla birlikte bu konuda her geçen gün ilerleme kaydedildiği söylenebilir [12].

2.3.10. Yapay zeka

Yapay zeka, makinelerle insanların sahip olduğu zekayı aktararak onların yapabildiği işleri yapmasını sağlayan gelişmiş yazılımlar olarak söylenebilir. Yapay zekanın ana

hedeflerinden birisi öğrenebilme kabiliyetine sahip olması ve bunu simüle edebilmesidir. Ortaya çıkışı çok yeni olmamakla birlikte bu zamana kadar çok yavaş ilerleme kaydedilmiştir. Endüstri 4.0 ile birlikte makine öğrenimi ve algoritma geliştirme ile ilgili çalışmalar hız kazanmaya başladı ancak endüstriyel kullanıma geçmeleri için biraz daha zaman gerekeceği söylenebilir [17].

2.3.11. Simülasyon

Simülasyon, gerçek dünyadaki bir sistemin veya sürecin zaman eksenine bağlı bilgisayar ortamındaki taklididir. Fiziksel sistemin bilgisayar üzerindeki simülasyonu sayesinde fiziksel sistemin gerçek zamanlı olarak uzaktan izlenmesi, çalıştırılması, parametrelerinin değiştirilmesi mümkün olmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte ürün ve sürecin simülasyonu birlikte entegre edilmiştir ve dijital ikiz olarak adlandırılmaktadır. Gerçek zamanlı verilerden faydalanılarak sanal modelde yaratılan dijital fabrika ile sistem test edilerek optimizasyonu sağlanabilecektir. Bunun sonucu olarak, fiziki yatırım ve kurulum süresini kısaltacağı söylenebilir [12].

2.4. Endüstri 4.0 Uygulamalarının Avantaj ve Dezavantajları

Endüstri 4.0 uygulamaları ile yalnızca üretilen mal ve hizmetler veya üretim şekilleri değil, aynı zamanda yaşam tarzları da değişiklik gösterir. Daha önce hiçbir şekilde kullanılmayan bir kısım ürünler hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelirken, bazı ürünler ise kullanımdan kalkarak tarihi seyrini tamamlar. Aynı zamanda çalışma hayatı içerisinde de dönüşü olmayan radikal değişim başlamıştır. Geleneksel üretim yöntemlerinden uzaklaştıkça bu yeni üretim şekillerinin çalışma hayatını da derinden etkilemesi beklenmektedir. Dolayısı ile Endüstri 4.0 bir üretim şekli değişikliğinden ziyade yaşamsal bir değişim anlamını taşır. Tüm bu değişikliklerin insanlığa önemli avantajları olduğu gibi bir takım dezavantajları da olabileceği bir gerçektir.

2.4.1. Endüstri 4.0 uygulamalarının avantajları

Endüstri 4.0 uygulamalarının en önemli avantajı üretim ile ilgili olanlardır. Özellikle globalleşme ile birlikte coğrafi kısıtların ortadan kalktığı iktisadi ortamda rekabet, tüm zamanlar içerisinde görülen en üst seviyeye ulaşmıştır. Bu anlamda Endüstri 4.0'

ın avantajlı yöntemlerinden faydalanmak, işletmeler için bir tercihten ziyade zorunluluk haline gelmiştir. Aşağıda yer alan hususlar Endüstri 4.0'ın üretim hayatında gerçekleştirdiği en önemli yönleri göstermektedir [21]:

- Endüstri 4.0 sayesinde sistemlerin izlenmesi ve olası arızaların teşhis edilmesi kolaylaşır.
- Endüstri 4.0 ile birlikte üretim sistemleri ve bu sistemleri oluşturan bileşenler öz farkındalık kazanır.
- Endüstri 4.0 sistemi çevre dostu uygulamalara sahiptir ve kaynak israfını önleyerek sürdürülebilir bir üretim yapılmasına sebep olur.
- Endüstri 4.0 uygulamaları ile üretimde yüksek verimlilik sağlanır.
- Endüstri 4.0 ile üretimde esneklik artar ve talebe tam uyumlu üretim çıktıları elde edilir.
- Endüstri 4.0 uygulamaları üretimde maliyetin azaltılmasına yol açar.
- Endüstri 4.0 üretim yöntemleri ile yeni hizmet ve iş modelleri geliştirilir.

2.4.2. Endüstri 4.0 uygulamalarının dezavantajları

Her yönüyle hayatı etki altına alan Endüstri 4.0 uygulamalarının yalnızca faydalarından bahsedilebilme imkanı yoktur. Teknolojinin bu denli yoğun olarak yaşanmasının bir kısım olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bu olumsuzlukların başında insan gücünün yerini robotların, akıllı makinelerin ve sistemlerin almasıdır. Özellikle üretimde kullanılan insan gücünün makine ve robotlarla ikame edilmesi nedeniyle kitlesel işsizliğin görülme riski bulunmaktadır. İşgücü adına yapısal değişimini tamamlayamayan toplumlarda bu etkinin çok daha fazla görülmesi beklenmelidir. Ayrıca Endüstri 4.0 ülkeler arasındaki gelişmişlik farklarını artırabilecek bir güce sahiptir. Özellikle yüksek teknolojiye sahip olan ülkeler Endüstri 4.0 olanaklarından çok daha fazla faydalanabilecek ve böylece gelişmişlik düzeyi açısından diğer ülkeler ile aralarındaki yaşam standartları farkını artıracaklardır. Bu durum da insanlığın geleceği açısından istenmeyen bir durumu ortaya koymaktadır [22].

2.5. Akıllı Fabrika Uygulamaları

Endüstri 4.0 uygulamaları, hayatın her alanında aktif bir rol almakta ise de; en önemli etkisini hiç şüphesiz üretim alanında göstermektedir. Sanayi, imalat ve üretim alanlarındaki faaliyetler Endüstri 4.0 ile birlikte çok daha yoğun bir değişim içerisine girmiştir. Bu değişimin en önemli parçalarından bir tanesi de akıllı fabrikalardır. Sanayi devrimi ile birlikte ortaya çıkan kitlesel üretim ve fordist anlayışı uzun bir süre varlığını devam ettirmiş ancak teknolojinin gelişim hızının giderek artması nedeniyle yerini bireysel ve özellekli üretime bırakmıştır. Dolayısı ile günümüzde işlevsel ve kullanıcının ihtiyacına uygun ürünlerin üretilmesi uygulamasına geçilmiştir. Akıllı üretim konusunda öne çıkan en önemli uygulamaların başında da akıllı fabrikalar gelmektedir. Akıllı fabrikalar, hem üretim şekli hem de çıktıları itibarıyla geleneksel üretim yöntemlerinden çok daha farklı bir yapıya sahiptir.

2.5.1. Akıllı fabrikanın tanımı

Akıllı fabrikalar, üretim sistemlerini oluşturan tüm elemanların otonom ve birbirleri ile haberleşerek fonksiyonlarını gerçekleştirdiği fabrikalardır. Geleneksel fabrikalardan farklı olarak, insan faktörü tümüyle sistem dışında bırakılmış ancak olağanüstü bir durum oluştuğunda müdahale edecek şekilde yapılandırılmıştır [12]. Akıllı fabrikaların bir diğer ismi karanlık fabrikalardır. Bu fabrikalara karanlık fabrikalar denmesinin en önemli sebebi, üretimde tamamen otomasyona geçilmesi ve insan gücünden arındırılması sebebiyle aydınlatmaya gereksinim duyulmamasıdır. Bu tür fabrikalarda hammaddenin gelişinden ürün çıkışına geçen zaman içerisinde tam bir otomasyon sağlanmıştır. Süreç içerisinde her bir makinenin görev tanımları yapılmıştır. Dahası, ortaya çıkması muhtemel sorunlar da yine makineler tarafından tespit edilerek çözüme kavuşturulur. Bu sebeple bu aşamada da işgücüne ihtiyaç duyulmaz [23].

Akıllı veya karanlık fabrikalar olarak nitelendirilen üretim şeklinin ulaşılması gereken nihai nokta olduğu belirtilmelidir. Günümüzde pek çok üretim tesisi, bu yolda çabalamaya devam etmekte ve her geçen gün akıllı fabrika olmaya bir adım daha yaklaşmaktadır. Sürecin en son noktasında ise insan gücünün üretimden tamamen çekilmesi ve karanlık üretime geçilmesi amaçlanmaktadır.

2.5.2. Akıllı fabrikaların özellikleri

Akıllı fabrikalar günümüze kadar yoğun bir şekilde kullanılagelen geleneksel üretim tesislerine göre çok farklı özellikler sergiler. Endüstri 4.0 ve getirileri sayesinde tek düze üretim sistemlerinden duruma göre değişiklik gösteren, çeşitli üretim çıktılarına kolaylıkla uyum sağlayabilen ve bölümler arasında iletişim ve entegrasyonun olduğu üretim yapıları, akıllı fabrikaları nitelendirmektedir. Akıllı fabrikaların en önemli özellikleri aşağıdaki gibidir [24]:

- Akıllı Fabrikalar içerisinde yer alan makineler, sahip oldukları sistemleri kendileri organize ederler. Fabrika içerisinde yer alan makineler internet ve yapay zeka sayesinde kesintisiz olarak iletişim halinde bulunurlar. Endüstri 4.0 uygulamalarının getirdiği nesnelerin interneti kavramı ile her bir makine yalnızca kendi üzerine düşen görevi yerine getirmekle kalmaz, aynı zamanda diğer makinelerle de iletişim kurarak eşgüdümlü bir şekilde çalışır. Böylelikle hatalar ortaya çıktıkları anda tespit edilir ve çok kısa süre içerisinde telafi edilebilirler. Dolayısı ile hatalı üretimden kaynaklanan gereksiz maliyetin de önüne geçilmiş olur.
- Akıllı fabrikalarda üretim süreci anlık olarak kontrol edilebilir. İşleyiş sürekli olarak kayıt altına alınır ve bulut sistemler sayesinde veriler depolanır. Böylelikle yöneticiler, fabrika ile ilgili her türlü veriye ulaşabilme imkânına sahip olurlar. Dolayısı ile herhangi bir bilgisayar, tablet veya telefon gibi bir cihaz ile tüm fabrikanın kontrol altına alınması, yönetilmesi ve işleyişine yönelik her türlü bilgiye ulaşılması mümkün olacaktır.
- Akıllı fabrikaların sahip olduğu yapay zekâ teknolojisi yalnızca makinelerin birbiriyle olan iletişimini sağlamakla ve koordineli çalışmakla kalmaz, aynı zamanda sürekli olarak kendini geliştirerek yeni öneriler ve çözümlerle bulunur. Bu sebeple insanların sahip olduğu tecrübe benzeri bir deneyimi elde ederler ve süreci iyileştirme konusunda yöneticilere yardımcı olurlar.
- Günümüzde en değerli ürünler birbirinin aynısı ve çokça üretilmiş ürünler olmayıp aksine kişilerin ihtiyaç, zevk, tercih ve beğenilerine uygun kişiselleştirilmiş ürünlerdir. Bu sebeple akıllı fabrikalar, tüketicilerin tüm tercihlerini değerlendirerek tamamen kişiye özel üretim yapabilme imkânına sahip olurlar. Dahası, piyasada henüz var olmayan ürünlerin dahi tasarlanması ve üretilmesi mümkün hale

gelmektedir. Aynı üretim hattında birbirinden farklı ürünlerin ortaya çıkması da akıllı fabrika uygulamaları ile mümkün olmaktadır.

- Üretim belirli maliyeti içerisinde barındıran bir uygulamadır. Özellikle bazı hata ve eksikler neticesinde üretim çıktıları istenilen özelliklere sahip olmaz. Bu aşamada ortaya çıkan ekstra maliyete katlanılmak zorunda kalınır. Ancak akıllı fabrikalar ile simüle edilebilen üretim anlayışı sayesinde gerçek üretimden önce simülasyona dayalı üretim yapılır, hata ve eksiklikler ortaya çıkar. Böylelikle gereksiz maliyet ve zaman israfından kaçınılmış olunur. Yine simülasyon sayesinde ürün geliştirilebilir ve üründe sürekli yenilenme sağlanabilir.

2.5.3. Akıllı fabrikaların üretim üzerindeki etkileri

Akıllı fabrikaların üretim hayatında köklü değişikliklere yol açtığı ve alışlageldik üretim anlayışına göre önemli farklılıkları içerisinde barındırdığı söylenebilir. Akıllı fabrikalar öncelikle zorlu ve uzun süren üretim süreçlerini kısaltırlar. Özellikle uzun zaman alan analiz ve raporlama işlemleri akıllı fabrikaların entegre yapısı ile çok daha kısa sürede yapılabilir. Ayrıca akıllı fabrikalar ile temiz üretim ve sessiz üretim imkânı doğmuştur. Özellikle çevresel değerlerin üretimden olumsuz etkilendiği düşünüldüğünde, temiz ve sessiz üretimin insanlığın geleceği için getirisi çok daha iyi anlaşılacaktır.

Akıllı fabrikalarda envanter maliyeti konvansiyonel fabrikalara göre çok daha düşük olacağı söylenebilir. Akıllı fabrikalarda stok düzeyi makineler tarafından otonom gerçekleştirilecekleri işin hacmine göre anlık belirlenebilmekte gereksiz düzeyde hammadde ve yarı mamul fabrikalarda bulunmamaktadır. Akıllı fabrikalarda yalın üretim olabilecek en üst düzeyde sağlanabilmekte, sistem oldukça çevik bir hale gelmektedir [13].

Akıllı fabrikaların üretim sürecinin her aşamasını kesintisiz izlemesi de üretim üzerindeki bir diğer etkisidir. Özellikle otomasyon sistemleri ile üretimin başlangıcından depolanma aşamasına kadar sürecin her aşaması izlenebilir ve gerektiğinde zaman kaybetmeksizin müdahalede bulunulabilir.

2.5.4. Akıllı fabrikaların işgücü kullanımı üzerindeki etkileri

Akıllı fabrikalar, üst düzey teknoloji ile çalışan ve üretim süreci içerisinde mümkün olan her aşamanın makineleşme yoluyla yapılmasını amaçlayan sistemler bütünüdür. Dolayısı ile geleneksel üretim yöntemlerinden farklı olarak, çok az sayıda mavi yakalı çalışana ihtiyaç duymaktadır. Öyle ki pek çok aşamada tamamen makineler ve bilişim sistemleri ile üretim yapılır ve bu aşamalarda neredeyse hiç mavi yakalı kullanılmaz. Böylelikle tam otomasyon uygulaması ile üretim yapılmış olur.

Akıllı fabrikaların işgücü üzerindeki tek etkisi mavi yakalılar üzerine değildir. Nesnelerin interneti yoluyla birbiriyle iletişim kurabilen modern makineler, mavi yakalılar kadar beyaz yakalı çalışanların da bir kısmını atıl bırakmaktadır. Mavi yakalıları göre beyaz yakalıların üretimden çekilme tehdidi daha az gibi görünse de, akıllı makineler ve yapay zekâ uygulamaları ile bu risk beyaz yakalılar aleyhine her geçen gün artacaktır. Dolayısı ile akıllı fabrikaların beyaz yakalıların işsizliği konusunda etkili olacağı söylenebilir.

Akıllı fabrikaların işgücü üzerindeki son etkisi ise, ihtiyaç duyulan işgücünün dönüşümü üzerine olacaktır. Eskiden ihtiyaç duyulmayan vasıftaki kişilere yeni teknolojiler ile birlikte ihtiyaç duyulur hale gelecektir. Bu sebeple öncelikle akıllı fabrikaların ihtiyaç duyacağı işgücü niteliğinin tespit edilmesi ve daha sonra bu niteliklere uygun personel yetiştirilmesi gerekmektedir. Böylelikle bir yandan işgörenlerin işsiz kalması ve diğer yandan da işgücü talebinin nitelik uyumsuzluğu yüzünden karşılanamaması gibi bir sorunun ortaya çıkması ve teknolojik işsizliğin görülmesinin önüne geçilmiş olacaktır [25].

Tüm bu görüşlerin aksine Endüstri 4.0 uygulamalarının ve akıllı fabrikaların uzun vadede işsizlik oranlarını daha fazla artırmayacağını düşünen uzmanlar da bulunmaktadır. Onlara göre her ne kadar akıllı fabrikalar kurulsun ve yapay zekâ ürünü robotlar ortaya çıksa da bu unsurlar insan gücünün yerini tutamazlar. Zira robotlar tecrübe edinemezler, liderlik özelliği sergileyemezler ve yaratıcı olamazlar. Bu sebeple robotların ve akıllı makinelerin işgücünün yerine tamamen geçebilmesi ihtimalinin olmadığını düşünen kişilerin sayısı az değildir. Ayrıca bu düşünceye göre teknoloji ne kadar ilerlerse ilerlesin, insanoğlu sahip olduğu zekâsı ile birlikte

kendisine yeni çıkış yolları ve çalışma alanları bulacaktır. Böylelikle her zaman işgücü üretim faktörlerinden bir tanesi olarak kalmayı başaracaktır.

Son olarak akıllı fabrika uygulamalarının işgücünün iş sağlığı ve güvenliğine yönelik riskleri bertaraf etme özelliğinden bahsetmek gerekecektir. Çalışma şartları işgörenler için her zaman tam anlamıyla güvenli olmaz. Özellikle üretim sürecinin belirli bölümlerinde işgörenler, daha riskli işler yapması gerekebilir. Bu gibi durumlarda kişilerin iş kazasında veya meslek hastalığına maruz kalma ihtimali ortaya çıkar. Akıllı fabrika uygulamalarında ise özellikle yüksek riskli işlerde işgücü tamamen ortadan kaldırılır ve işleyiş makinelerle bırakılır. Böylelikle işgücünün çalışmaktan kaynaklanan zarar görmesi ihtimali ortadan kaldırılmış olur. Zira makinelerin işleyişi sırasında ortaya çıkması ihtimali bulunan zarar yalnızca maddi yönlü olacak iken, işgörenlerin görme ihtimali olan zararlar ruhsal veya fiziksel olabilecektir.

3. ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI VE OLASI ETKİLERİ

Endüstri 4.0 kavramının henüz çok yeni olmasından dolayı gelecekteki sonuçlarını tam olarak bilebilme imkanı bulunmamaktadır. Ancak günümüze kadar çok kısa bir süre geçmiş olmasına karşılık gerek üretim şekli ve çıktılarında gerekse de tüm yaşam anlayışı üzerinde köklü değişikliklere yol açmıştır. Özellikle Endüstri 3.0 uygulamalarını içselleştirebilmiş ve Endüstri 4.0'a hazır halde bulunan gelişmiş ülkelerde bu farklılık çok daha açık bir şekilde görülmektedir. Bu bölümde öncelikle dünyada, daha sonra da Türkiye'de Endüstri 4.0'ın neden olduğu farklılıklar incelenecektir. Endüstri 4.0'ın üretime yönelik olarak en çok değişim içerdiği konuların yatırımlar, üretim şekli ve çıktıları ile istihdam biçimi olduğu görülmektedir. Dolayısı ile endüstrinin tüm işleyişi üzerinde etkisi olduğu söylenebilecektir.

3.1. Dünyada Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Olası Etkileri

Endüstri 4.0 uygulamalarının ortaya çıkışı ile birlikte tüm dünya ülkeleri bu değişimden payını almıştır. Bununla birlikte ABD, AB ülkeleri, Japonya, Güney Kore ve benzeri ileri teknolojiye sahip ülkelerin, değişim konusuna çok daha istekli ve yakın oldukları görülmektedir. Dahası, teknolojiyi kullanma ve rakiplerinin önüne geçme konusunda yüksek bütçeler ayırdıkları bilinmektedir. Endüstri 4.0 ile ilgili dünyada ortaya çıkması beklenen olası etkiler şu şekilde sayılabilir [26]:

- Otomasyon süreçlerinde, tüm makine ve cihazların kendiliğinden birbirleriyle haberleştiği, üretim şekil ve tekniklerini belirledikleri, düzenledikleri ve optimum üretim tarzını kullandıkları akıllı fabrikalar kurulacaktır.
- Akıllı fabrikalar sayesinde bireysel ihtiyaçları karşılayan ve spesifik gereksinimlere uygun ürünlerin üretimini mümkün olacaktır.
- Üretim öncesinde gerçekleştirilen Ar-Ge ve tasarım süreçleri içerisinde global anlamda faaliyet gösteren ağlar üzerinden işbirliği ve simülasyon olanakları ortaya çıkacak, mükerrer çalışmalar ortadan kalkacak ve önemli ölçüde tasarruf ve iyileştirmeler elde edilecektir.

- Binalar, ulaşım araçları, ev aletleri, robotlar, makineler, cihazlar gibi her türlü ürün akıllı hale getirilecek ve sürecin hiçbir aşamasında insan müdahalesine ihtiyaç duyulmayacak veya en düşük müdahale ile yürütümü sağlanacaktır.
- Eğitim, sağlık, adalet, güvenlik gibi toplumun tamamını ilgilendiren alanlarda yeni yaklaşımlar ortaya konacaktır.
- İstihdam alanlarının tamamında yeni meslekler ve kişisel yeterlilikler ortaya çıkacak ve bazı meslekler yok olurken, pek çoğu da değişmek zorunda kalacaktır.

Görüldüğü üzere Endüstri 4.0 yalnızca bir üretim şekli değişikliğini değil, aynı zamanda yaşam şekli değişikliğini de içermektedir. Dolayısı ile Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikleri elde etmek bir tercihten ziyade zorunluluktur. Dahası bu süreçte entegre olamayan ülkelerin tüm dünya ülkeleri arasında toplumsal refah açısından çok gerilere düşeceği ve ciddi yapısal sorunlar ile karşılaşacağı tahmin edilmektedir.

3.1.1. Endüstri 4.0' ın yatırımlar üzerindeki olası etkileri

Kamu ve özel sektörün ulusal veya uluslararası yatırımların en önemli amacı; mümkün olan en kısa sürede en yüksek çıktı seviyesine ulaşmaktır. Bu genel amaç irdelendiğinde ise, içerisinde doğru üretim çıktısına, doğru üretim şekline ve doğru üretim teknolojisine ulaşmak olduğu görülecektir. Endüstri 4.0 ile üretim şekli ve çıktılarında köklü değişikliklerin ortaya çıkması, fordist üretimden bireysel ihtiyaçlara yönelik üretime geçilmiş olması, emek yoğun üretimden teknoloji yoğun üretim tarzının benimsenmesi gibi sebeplerle gerek ilk yatırımlarda, gerekse de telafi ve büyümeye endeksli yatırımlarda önemli farklılıklar ortaya çıkacaktır.

Endüstri 4.0 tüm üretim aşamasının otomasyon ve makineler arası etkileşimi içermesinden dolayı, yapılacak olan yatırımlar, bu iki unsur etrafında şekillenecektir. Böylelikle makine yatırımları kadar bilişim sistemleri yatırımlarına da bütçe ayrılmak durumunda kalınacaktır [27]. Aynı zamanda bu teknolojiyi kullanabilecek nitelikli işgücünün yetiştirilebilmesi amacıyla da yüksek eğitim bütçelerine ihtiyaç duyulacaktır. Az sayıda fakat yüksek nitelikli personelin sistemin işlerliğini sağlayacağından, işgücü yetiştirme maliyetlerinin de artış göstermesi beklenmektedir. Dolayısı ile işgücü niteliğinin artırılmasına yönelik yatırımlar da toplam yatırımlar içerisinde önemli bir yer tutar.

Görüldüğü üzere Endüstri 4.0'ın üretim için getirdiği radikal değişikliklerden yatırımlarda pay almaktadır. Bu denli büyük değişim ve yatırım maliyetlerine özel sektörün tek başına katlanabilmesi her zaman çok kolay olmayacaktır. Bu sebeple özellikle dünyanın gelişmiş ekonomilerinde devlet desteği ön plana çıkmaktadır. Özellikle bu konuda Finlandiya, Çin ve Almanya, Endüstri 4.0 uygulamaları için özel sektöre önemli bir kaynak sağlamaktadır. Yine ABD'de kâr amacı gütmeyen kuruluşlar, özel sektör ile işbirliği yapmakta ve yatırımlara destek olmaktadır. Alman hükümeti 2020 yılına kadar özel sektöre 20 milyar Euro destek sözü vermiştir. Dolayısı ile özel sektör için cazip bir inovasyon ortamı ortaya çıkmıştır. Almanya'da 235 firma ile yapılan bir araştırma neticesinde, gelecek beş yıl içerisinde yıllık toplam cirolarının % 33 lük kısmını Endüstri 4.0 içerikli projelere ayırmayı planladıkları anlaşılmıştır. Avrupa genelinde Endüstri 4.0'a ayrılacak olan bütçenin ise 140 milyar Euro civarında olacağı tahmin edilmektedir [19].

3.1.2. Endüstri 4.0'ın büyüme üzerindeki olası etkileri

Dünya üzerinde büyüme hızının yıllara göre değişimine bakıldığında, 2008 krizine kadar olan ortalama % 5 lik büyüme hızının kriz sonrası % 3 düzeyine gerilediği görülmektedir. Özellikle kriz sonrası büyüme hızı eski seviyesine çıkamamış ve % 3 lerde kalmaya devam etmiştir. Özellikle teknolojik gelişmelerin giderek artış göstermesine karşılık büyüme hızının artmaması, ortaya iki ayrı görüşün çıkmasına neden olmuştur. Bu görüşlerden ilki Endüstri 4.0 ve teknolojik gelişmelerin faydasının ortaya çıktığı ve artık büyüme hızının bu seviyenin üzerine çıkmayacağı yönündedir. Bu karamsar görüş, teknoloji ile büyüme arasındaki illiyet bağının yeterince kuvvetli olmadığını ve zaten ortaya çıkması muhtemel etkisini gösterdiğini belirtmektedir. İkinci ve daha kuvvetli olarak savunulan görüşe göre ise; teknoloji artışı ve üretim yöntemlerindeki değişim, yeniden verimlilik ve büyüme üzerinde ciddi bir artış sağlayacaktır. Bu iyimser görüşe göre özellikle Endüstri 4.0 uygulamalarının henüz sonuçları alınmaya başlanmamıştır. Gelecekte, yapılan yatırımların sonuçlarının ortaya çıkması ve teknoloji gelişim hızının artış göstermesi ile birlikte çok daha yüksek büyüme hızları yakalanabilecektir [28].

Endüstri 4.0'ın büyüme üzerindeki etkilerine yönelik her iki görüşü de destekleyen veriler bulunmakla birlikte, iyimser anlayışın ortaya koyduğu düşünceler daha

optimist görünmektedir. Schwab’a göre; Endüstri 4.0 daha önce insanlığın ihtiyacı olmayan ürünleri yeni yeni üretmeye başlamıştır. Bu sebeple ihtiyaç ve tüketim konusunda kararlı dengeye henüz ulaşmamıştır. Dahası, ülkeler ve işletmeler, Endüstri 4.0’ın getirdiği dijitalleşmeye ayak uydurabilmiş değildirler. Ayrıca inovasyon faaliyetlerinin istenilen sonucu verebildiği de günümüzde söylenemeyecektir. Dolayısı ile gelecekte Endüstri 4.0 uygulamaları üretim ve büyüme konusunda daha net çıktılar verecek ve büyüme hızında pozitif yönlü bir değişim görülebilecektir [29].

Endüstri 4.0 ile birlikte ortaya çıkan yüksek miktartlı yatırımlar ve Ar-Ge çalışmaları, beraberinde yüksek oranlı büyüme hedeflerini getirmektedir. Endüstriyel sürecin otomasyon uygulamaları ile buluşması, akıllı fabrikaların kurulması ve üretimi niteliksel ve niceliksel olarak artış göstermesi, endüstri kökenli büyüme hedeflerini yükseltmektedir. Ayrıca insan gücünün yerini makine ve robot gücünün alması sebebiyle zamandan tasarruf ve daha kısa sürede daha yüksek büyümenin gerçekleşmesine neden olacaktır. Öngörüler; Endüstri 4.0’ın çıktıları görülmeye başladıktan sonra Endüstriyel satışlarda ortalama % 2-3 oranında artışın sağlanacağı şeklindedir. Yine Almanya’da 30 milyar Euro ve Avrupa Birliği Ülkelerinde ise 100 milyar Euro ciro civarında bir ciro artışının görüleceği tahmin edilmektedir. Dolayısı ile Endüstri 4.0, kendisine yapılan yatırımların karşılığını ivedilikle verebilecek niteliğe sahiptir [19].

3.1.3. Endüstri 4.0’ın istihdam üzerindeki etkileri

Endüstri 4.0’ın en önemli felsefi değerlerinin başında, sürdürülebilirlik gelmektedir. Artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak gerçekleştirilen üretim açısından hammadde ve diğer üretim kaynaklarının optimum düzeyde kullanılması Endüstri 4.0 için vazgeçilmez bir ilke niteliği taşımaktadır. Bununla birlikte Endüstri 4.0’ın özellikle işgücü kullanımı ve istihdam konusunda getirdikleri, istihdamı tehdit eder niteliktedir. Endüstri 4.0 ile birlikte gelecekte iş modelleri üzerinde yıkıcı etkiler beklenmektedir. Bu etkilerin bir kısmı bazı işkollarının tamamen yok olması şeklinde olabilecek iken, bir kısmı da sayıca azalmak ve nitelik değiştirmek şeklinde tezahür edecektir. Dünya Ekonomik Forumu tarafından hazırlanan “İşlerin Geleceği (Future of Jobs Report) “ isimli raporda; hali hazırda ilkokul çağındaki olan çocukların %

65'inin gelecekte şu anda var olmayan işlerde çalışacağı yer almaktadır. Her ne kadar görüş ve oran çok iddialı olsa dahi; Endüstri 4.0'ın işgücü piyasalarında neden olabileceği değişimi anlatması açısından önemlidir. Yine aynı raporda; bir kısım işlerin tamamen yok olacağı ancak buna karşılık şimdiye kadar hiç ihtiyaç duyulmamış olan mesleki becerilerin ve işlerin ortaya çıkacağı ve bu işlere uyum gösteren kişilerin iş bulmakta zorlanmayacakları bilgisi yer almaktadır. Sonuç olarak Endüstri 4.0 ile birlikte işgücü piyasalarında radikal değişikliklerin ortaya çıkması beklenmektedir [30].

İstihdamın geleceği ile ilgili bir kısım düşünürler bu derece karamsar olurken, diğer bir kısmı ise aynı seviyede olumsuz bir görüşe sahip değildir. Teknoloji yoğun üretim şeklinin özellikle düşük nitelikli işgörenleri işsizlikle tehdit edeceği kabul görmekle birlikte yine de, gelişen teknolojinin yönlendirilmesi ve geliştirilmesi için de çok sayıda işgörene ihtiyaç duyulacağı, bu sebeple de niteliksel dönüşümü gerçekleştirmeyi başarabilen kişilerin işsizlik sorunu ile karşılaşmayacağı görüşü, işgücü ile ilgili savunulan bir diğer görüş olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle Endüstri 4.0'ın en önemli ilgi alanlarının başında gelen Ar-Ge çalışmaları için eskisine nazaran çok sayıda işgücüne ihtiyaç duyulacağı aşîkardır. Zira her ne kadar yapay zekânın kendi tecrübelerinden faydalanması ve sahip olduğu algoritmaları geliştirmesi mümkün olsa da, hali hazırda bu gelişimin tüm Ar-Ge çalışmalarını üstlenebileceği düşünölmemektedir. Bu sebeple işgücü tamamen önemini kaybetmiştir fikrinin benimsenmesi için yeterli argümanın bulunduğunu söylemek mümkün değildir.

3.2. Türkiye’de Endüstri 4.0 Uygulamaları ve Etkileri

Türkiye, hali hazırda gelişmekte olan ölkeler arasında yer alan ve teknolojiyi nispeten geriden takip eden ölkeler arasında yer almaktadır. Teknoloji konusunda öncü bir rolü bulunmayan Türkiye, genel olarak düşük teknolojili malları üretmekte ve yüksek teknolojili malları ise ithal ederek ihtiyacını karşılamaktadır. Bu anlamda Türkiye’nin tüm üretim ve yaşam sistemleri ile Endüstri 4.0 uygulamalarına hazır olduğunu söyleyebilmek mümkün değildir. Ölkede var olan işletme ve fabrikaların çok önemli bir kısmı emek yoğun ve düşük teknoloji ile üretim yapmakta iken, büyük çaplı şirketler ise nispi olarak yüksek teknolojili ve makine yoğun bir üretim

tarzını sürdürmektedir. Büyük çaplı şirketlerin zaten teknoloji kültürüne sahip olmaları ve özellikle teknoloji yoğun üretim açısından gereksinim duyulacak işgücü, makine ve tesis açısından hazırlıkları bulunması nedeniyle Endüstri 4.0'a uyum sağlamaları ve bu değişimden daha fazla faydalanabilmeleri mümkündür. Ancak KOBİ olarak adlandırılan ve kısıtlı sermaye ile teknolojiye sahip olan kurumların Endüstri 4.0 konusunda elde edecekleri fayda daha sınırlı olacaktır. Bununla birlikte yine de tüm KOBİ'ler için genelleme yapmak mümkün değildir. Özellikle kuruluş esnasında teknolojiye uygun bir üretim yapısı planlanmış olan KOBİ'lerin Endüstri 4.0'dan faydalanma oranlarının yüksek olması beklenmektedir.

Türkiye'nin Endüstri 4.0 konusunda sahip olduğu çok sayıda avantaj ve dezavantaj bulunmaktadır. Özellikle konuyu her yönüyle ele alabilmek açısından SWOT analizinin yapılması yerinde olacaktır. Türkiye'nin Endüstri 4.0'a yönelik SWOT analizi Tablo 3.1'de gösterildiği gibi yapılabilir [31].

Tablo 3.1. Türkiye'de Endüstri 4.0 İçin SWOT Analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
Genç nüfus sayısı, Taleplere açık iç pazar yapısı, Dış pazarlara erişim kolaylığı, Yurtiçi ulaşım kolaylığı, Çoklu kültüre yatkınlık, Teknolojiye yatkınlık, Yaygın mühendislik eğitimi, Sektörel yaygınlık,	Yetersiz iç pazar büyüklüğü, Proje finansman ihtiyacı, Teknoloji geliştirme kültürü, Sektörel regülasyon ve standardizasyon sorunları, İş hukuku, Nitelikli iş gücü, Akademik yapı, Bürokratik yaklaşım, Ortak hareket planı,
Fırsatlar	Tehditler
Ekonomik büyüme potansiyeli, Yatırım ortamının devamı, Teşvikler, Yaygın teknokent yapısı, artan ARGE merkezleri, 20.000'e yakın bilişim firması ile dinamik sektör yapısı, Sektörel işe başlama ilk yatırım oranının düşük olması, Büyük projeler, Birçok yabancı firmanın bulunduğu bir pazar, Yazılım geliştirme potansiyeli,	Yabancı üretici firmaların pazarı baskı altında tutması, İhalelerdeki risk ve sektöre uygun ihale kanunu eksikliği, Kamunun sektörde üretici olarak yer alması, Bürokrasinin sektöre yaklaşımı, İstihdam baskısı, Akademik eğitim kalitesi, Düşük karlılık ve haksız rekabet, Kamunun özel sektör ile rekabet etmesi, Hukuki sorunlar,

Türkiye’de faaliyet gösteren gerek KOBİ gerekse de büyük çaplı şirketler arasında teknolojiyi kullanma açısından büyük farklılıklar bulunmaktadır. Halen Türkiye açısından teknolojiyi kullanma seviyesi istenilen düzeyde olmasa dahi, yine de Endüstri 4.0 uygulamalarına uyum sağlamaya çalışan ve bu uygulamalardan faydalanan şirketler bulunmaktadır. TOBB’un 2017 yılında yayınlamış olduğu raporda Arçelik ve Kibar Holding’in bu çaba içerisinde başı çeken oluşumlar olduğu belirtilmiştir. Özellikle Arçelik firmasının uzun süredir 3 boyutlu yazıcıları kullandığı ve çok sayıda parçayı 3 boyutlu yazıcılar sayesinde ürettiği belirtilmektedir. Yine aynı firma, 2020 yılı için sanal gerçeklikten faydalanabilme konusunda Horizon 2020 isimli projeyi hayata geçirmeye çalışmaktadır [32].

Türkiye’nin Endüstri 4.0 ile ilgili bir kısım dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan ilki, Türk üretim yapısının henüz Endüstri 3.0 uygulamalarını içselleştirememiş olmasıdır. Özellikle küçük çaplı üretim yapan işletmelerin çoğunlukla emek yoğun ve eski teknoloji ile üretim yaptıkları bilinmektedir. Yine üretimin ithalata bağımlı olması da, üretim teknolojisinin iyileşmesini önlemektedir. Ayrıca işgücü becerileri ve nitelikli işgücü açısından da Türkiye’nin Endüstri 4.0 uygulamalarına hazır olduğunu söyleyebilme imkanı bulunmamaktadır. Özellikle ileri teknoloji gerektiren çalışma alanlarında çalışabilecek olan kişi sayısı yok denecek kadar azdır [28].

Ancak bunun yanında Türkiye jeopolitik konumu ve düşük maliyetli işgücü açısından rekabetçi bir konuma da sahiptir. Bu sebeple özellikle devlet destekli yatırımların ve Ar-Ge çalışmalarının Endüstri 4.0 uygulamalarına önemli destek sağlayabileceği düşünülmektedir. Türkiye, düşük verimliliğe sahip üretim yapısından kurtuldukça ve yüksek verimlilikle üretime yöneldikçe avantajlarını fırsata çevirebilecek, aksi takdirde ise gelişmiş ülkelerin yüksek rekabet gücü içerisinde ekonomik kayıplar yaşayacaktır.

3.3. Endüstri 4.0 Uygulamalarının Türkiye’de KOBİ’ler Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi

Endüstri 4.0 her ülkede olduğu gibi Türkiye’de de üretici firmalar üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Ancak Türkiye’nin genel üretim sistemi KOBİ’ler üzerine kurulu olduğundan, Endüstri 4.0’ın en yüksek etki alanı içerisinde KOBİ’lerin yer alması beklenmelidir. Türkiye’de KOBİ’ler ekonomik konjonktürel hareketleri

yumuşatmaları, yüksek oranda istihdam sağlamaları ve üretimin önemli bir kısmını gerçekleştirmeleri açısından ülkenin en önemli üretim organı niteliğini taşırlar. Ancak değişen teknoloji ve üretim anlayışı içerisinde yeni duruma uyum sağlayamayan işletmelerin zaman içerisinde varlıklarını ve üretimlerini sürdürebilmeleri beklenemeyecektir. Bu sebeple Endüstri 4.0'ın Türkiye'de faaliyet gösteren KOBİ'ler üzerindeki muhtemel etkilerinin iyi okunması ve dönüşümün başarı ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

3.3.1. Türk ekonomisi içerisinde KOBİ'lerin yeri

Tüm ülkeler, kendi ekonomik hacimleri ile orantılı bir şekilde KOBİ tanımlaması yapmaktadırlar. Büyük çaplı ekonomilere sahip ülkelerde KOBİ olarak tanımlanmış bulunan işletmelerin küçük çaplı ekonomiye sahip olan ülkelerde büyük ölçekli olarak kabul edilmesi mümkündür. Bu açıdan değerlendirildiğinde Endüstri 4.0 uygulamalarının Türkiye'de KOBİ'ler üzerindeki etkisinin anlaşılması için öncelikle Türkiye'de KOBİ standartlarının belirlenmesi yerinde olacaktır [33]. AB standartlarına uygun olarak yapılmış değerlendirmelere göre aşağıdaki özelliklere sahip olan işletmelerin KOBİ statüsünde olmaları kabul edilmektedir.

Tablo 3.2. AB Standartlarına Göre KOBİ Standartları Tanımlaması

Ölçek	Çalışan Sayısı	Yıllık Ciro
Mikro	< 10	≤ €2 Milyon
Küçük	10-49	≤ €10 Milyon
Orta	50-249	≤ €50 Milyon

Tablodan da anlaşılacağı üzere KOBİ standartları içerisinde çalışan sayısı ve yıllık ciro olmak üzere iki ayrı kıstas bulunmaktadır. Bu kıstaslardan en çok kullanılanı ise çalışan sayısıdır. Buna göre 1-249 arasında personelin çalıştığı işletmeler KOBİ statüsünde kabul edilmektedir [34]. Her ne kadar AB standartlarına göre mevcut değerlendirme kriterleri Türkiye için biraz yüksek olarak görünse de mevcut kriterlere göre Türkiye'de faaliyet gösteren işletmelerin % 98'inin KOBİ niteliği taşıdığı görülmektedir. Bu bakış açısına göre Türkiye'de KOBİ'leri etkileyebilecek olan herhangi bir değişkenin aynı zamanda tüm ekonomiyi derinden etkileyebileceği

görülmektedir. KOBİ'lerin Türk ekonomisindeki yerini gösteren rakamları aşağıdaki şekilde belirtmek mümkündür [33].

- KOBİ'lerin toplam mal ve hizmet satın alırları içerisindeki payı, %65,5'tir.
- KOBİ'lerin toplam ciro içerisindeki payı, %63,3'tür.
- KOBİ'lerin toplam üretim içerisindeki payı, %56,2'dir.
- KOBİ'lerin faktör maliyetiyle katma değerdeki (FMKD) payı, %53,9'dur.
- KOBİ'lerin maddi mallara yönelik brüt yatırımlar içerisindeki payı, %53,2'dir.
- KOBİ'lerin toplam istihdam sayısı içerisindeki payı, %75,8'dir.
- KOBİ'lerin toplam ücretli çalışan sayısı içerisindeki payı, %69,7'dir.

Türkiye'de KOBİ'ler genel olarak geleneksel üretimi simgelemektedir. Özellikle aile işletmeleri olarak kurulan, katma değeri düşük, emek yoğun sektörlerde yaygın olan görülen KOBİ'lerin gelirleri, genişlemeye ve büyümeye yeterince olanak tanımaz. Bu sebeple KOBİ'ler sürekli büyüyen ekonomi içerisinde oransal olarak zayıflar [35]. Dahası, özellikle dışa açık ve yabancı yatırımcının giriş serbestisi olduğu Türk ekonomisinde, yüksek finansman kaynağına ve teknolojiye karşı direnme ve bu kuruluşlarla rekabet edebilme şansı giderek zorlaşmaktadır.

3.3.2. Türkiye'de kurulmuş olan KOBİ'lerin genel özellikleri

Türkiye'de kurulmuş olan çok sayıda KOBİ, pek çok sektörü kendisine faaliyet alanı olarak seçmiştir. Bu sebeple KOBİ'lerin birbirinden farklı özellikleri olduğunu söylemek mümkündür. Yine de Türk ekonomik hayatı içerisinde kendisine yaygın bir şekilde yer bulmuş ve yine kendisine özgü karakteristik bir yapısı bulunan KOBİ'lerin en temel özellikleri aşağıdaki gibidir:

- KOBİ'ler nispeten küçük çaplı yatırımlarla kurulabilir ve sermayesine nazaran çok fazla çeşitlilikte ve miktarda üretim yapabilirler.
- KOBİ'ler emek yoğun üretim yapıları nedeniyle sermayelerine oranla çok fazla sayıda kişiyi istihdam edebilirler.
- KOBİ'ler üretmekte oldukları mal ve hizmetlere olan talebin niteliğinin ve niceliğinin değişmesine çok kolay uyum sağlarlar.
- KOBİ'lerin teknolojik yeniliklere uyum gücü yüksektir.

- KOBİ'ler bölgesel gelişmişlik düzeylerinin farklılaşmasını azaltır ve ücra yerlerde de belirli bir seviyede üretimin yapılmasına olanak sağlar.
- KOBİ'ler bölgesel gelir dağılımında ortaya çıkması muhtemel gelir adaletsizliklerinin önüne geçer.
- KOBİ'ler kişisel tasarrufları teşvik edici, yönlendirici ve tekrar ekonomiye kazandırıcı rolüyle sermaye birikimine katkı sağlar.
- KOBİ'ler büyük sanayiler ile işbirliği yaparlar ve büyük işletmelerin ihtiyaç duydukları ara maddeleri üreterek bu kuruluşların eksiklerini giderirler.
- KOBİ'ler ekonomi içerisindeki konjonktürel hareketleri dengeler ve böylece politik ve sosyal bir görev ifa ederler.

Türkiye'de KOBİ türü üretim birimleri gerek istihdam gerekse de üretim açısından önemli bir yere sahiptir. Özellikle konjonktürel değişiklik hızını düşürme ve ekonomik daralmaları nispi olarak sübvansetmesi amacıyla Türk ekonomisi üzerindeki katkısı büyüktür. Bu nedenle Türkiye'de KOBİ'lerden vazgeçebilme imkânı bulunmayıp, gelecekte devamının sağlanması açısından gerekli dönüşümün yapılmasının sağlanması gerekmektedir.

3.3.3. Endüstri 4.0 uygulamalarının Türkiye'de KOBİ'ler üzerindeki etkileri

Teknolojik gelişmelerin en önemli özelliği, ortaya çıkışından itibaren istisnasız her ekonomik birimi etkisi altına alması ve bu etkilenmeden kaçabilmenin mümkün olmamasıdır. Türkiye'de faaliyet gösteren KOBİ'lerin gerek teknolojik gelişmelerden gerekse de Endüstri 4.0 uygulamalarından muaf olabilmesi imkanı bulunmamaktadır. Türkiye'nin hali hazırda Endüstri 4.0'a ilişkin çalışmalar yapabilecek bir teknolojik altyapısının bulunmadığı gerçektir. Bu sebeple Endüstri 4.0 a geçiş noktasında diğer gelişmiş ülkelere nazaran bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Hali hazırda Türkiye için yapılan yorumlara bakıldığında teknolojik olarak Endüstri 2.5 aşamasında bulunduğu ve henüz Endüstri 3.0 aşamasına tam anlamıyla adapte olunamadığı görülmektedir. Bu sebeple Endüstri 4.0 uygulamalarının hemen hayata geçirilmesi ve faydalarından yararlanılması zor görünmektedir. Bu durum genelde orta ve düşük teknoloji ve emek yoğun üretim modeline sahip olan KOBİ'ler için de geçerlidir. Endüstri 4.0'ın KOBİ'ler üzerinde

çok çeşitli konularda etkisinin olacağı muhakkaktır. Bu etkiler başlıklar halinde şu şekilde sayılabilir.

- Endüstri 4.0 Uygulamalarının KOBİ’lerde Üretim Hacmi ve Kalitesi Üzerindeki Etkileri,
- Endüstri 4.0 Uygulamalarının İstihdam Şekli ve Miktarı Üzerindeki Etkileri,
- Endüstri 4.0 Uygulamalarının İç ve Dış Rekabet Üzerindeki Etkileridir.

3.3.3.1. Üretim hacmi ve kalitesi üzerindeki etkileri

Endüstri 4.0 uygulamaları KOBİ’lerin tüm işleyiş biçimini etkisi altına alabilecek büyüklükte bir anlayış değişikliği getirmektedir. Bununla birlikte Endüstri 4.0’ın en önemli etkisinin işletmelerin üretim hacmi ve kalitesi üzerine olacağı muhakkaktır. Endüstri 4.0 ile birlikte üretimde esneklik oranı artacak ve talep miktarı ve çeşitliliği eşzamanlı olarak karşılanabilecektir. Yine KOBİ’lerin verimliliği; hıza ve kalite artışına bağlı olarak gelişecektir. Böylelikle kitlesel üretimden ziyade talebe tam uyumlu bir arz yapısı elde edilecek ve ezbere üretim anlayışından çıkılacaktır [36].

3.3.3.2. İstihdam şekli ve miktarı üzerindeki etkileri

Çalışma hayatı ve işgücü piyasaları, Endüstri 4.0 uygulamalarının en fazla etki altına aldığı alanların başında gelmektedir. Bir işverene bağlı ve ücret karşılığında çalışan kişilerin devamlı surette işgücü piyasaları içerisinde yer almaları önemli ekonomik amaçların başında gelmektedir. Ancak Endüstri 4.0 uygulamaları, iş modellerini değiştiren ve üretim metotlarını emek yoğun modelden makine ve bilgisayar yoğun modele dönüştüren yapısı nedeniyle sürdürülebilir istihdamın önünde önemli bir engel olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle yapay zeka uygulamaları ve bilgisayar destekli makine kullanımı bir anda çok sayıda kişinin işsiz kalmasına yol açabilecek dinamizme sahiptir. Makine ve işgücü arasında gerek hız ve kalite, gerekse de maliyet açısından değerlendirme yapıldığında, makinelerin her iki alanda da işgücüne oranla çok daha yüksek fayda sağladığı görülmektedir. Teknolojik işsizlik adı verilen işsizlik türü her dönemde görülmekle birlikte Endüstri 4.0 uygulamaları sayesinde çok daha yüksek seviyelere çıkma tehlikesi ile karşı karşıya kalmıştır [37].

Konu Türkiye'deki KOBİ'ler açısından değerlendirildiğinde de, neticenin farklı olmadığı görülmektedir. Özellikle orta ve düşük vasıflı işgörenlerin yoğun olarak istihdam edildiği KOBİ'lerde, söz konusu işletmelerin Endüstri 4.0'a uyum sağladığı ve gelişmesini teknoloji eksenli sürdürdüğü oranda bu kişilerin işsizlik ihtimali artış gösterecektir. Dahası; istihdam edilmekten vazgeçilen bu kişilerin aynı veya benzer sektörlerde istihdam edilmesi de yine teknolojik gelişmeler nedeniyle mümkün olmayacaktır. Bu anlamda Türkiye'de en fazla istihdamı sağlayan kuruluşlar olan KOBİ'lerde yakın bir gelecekte yüksek sayıda işgörenin işsiz kalması ihtimali bulunmaktadır [27].

Endüstri 4.0'ın Türkiye'de faaliyet gösteren KOBİ'lerin istihdam ettiği kişiler üzerindeki tek olumsuz etkisinin niteliksiz personele yönelik olacağını söyleyebilmek mümkün değildir. Bu konuda benzeri bir etkinin beyaz yakalı olarak çalışan kişiler üzerinde gerçekleşmesi de beklenmektedir. Her ne kadar beyaz yakalılar kas gücü yerine beyin gücünü kullanan daha yüksek nitelikli kişiler olsalar dahi; bilgisayar programları, akıllı makineler ve keşfedilen algoritmalar, beyaz yakalı işgörenlerin de yerini alacaktır. Özellikle hassasiyet gerektiren işlerde yüksek başarı düzeyine sahip olan algoritmaların keşfedilmesi, beyaz yakalı işgörenlerin varlığını tehdit etmektedir. Ayrıca robotlar da yalnızca vasıfsız işleri yapmamakta, aynı zamanda düşünsel ve duruma göre karar verilmesi gereken işlerde de aktif olarak yer alabilmektedirler [22].

3.3.3.3. İç ve dış rekabet üzerindeki etkileri

Teknolojik değişimin en önemli özelliklerinin başında, üretim yapısı ve rekabetçi üstünlüğü etkileme vasfı gelmektedir. Mevcut teknolojinin değişimi ile birlikte yeni teknolojiye ayak uydurabilen işletmeler, rekabette de bir adım öne geçeceklerdir. Günümüzde yoğun rekabetin yaşandığı sektörler başta olmak üzere tüm sektörlerde yeni teknoloji kullanımı önemlidir [38]. Küresel ekonomi içerisinde teknolojinin iletişim olanaklarını sınırsız hale getirmesi ve bilgi akışı açısından sınırları yok etmesi, iç ve dış rekabet ayrımını da büyük ölçüde ortadan kaldırmıştır. Bu sebeple KOBİ'lerin yalnızca iç veya dış rekabete yönelik uygulamalarda bulunmaları yerine global anlamda rekabette üstünlüğü ele alacak yöntemlere başvurmaları gerekmektedir.

Teknolojinin bu denli ilerlemediği yakın geçmişte KOBİ'ler kendi coğrafi sınırları içerisinde üretim yapmayı ve ürünlerini ilgililerle buluşturmayı başarabiliyorlardı. Dış rakipler bir yana, aynı ekonomi içerisinde faaliyet gösteren diğer KOBİ ve şirketler dahi coğrafi engelleri aşarak, üretim yapılan alana girmekte zorlanabiliyorlardı. Ancak günümüzde başta bilgi, iletişim ve ulaşım teknolojisi olmak üzere teknolojinin her konuda çok ileri düzeye ulaşması sebebiyle coğrafi kısıtlılıklar bir koruma kalkanı olmaktan çıkmıştır [39].

KOBİ'lerin iç ve dış rekabeti sürdürebilmeleri için öncelikle klasik üretimin dışına çıkmaları gerekmektedir. Günümüzde “Her arz kendi talebini yaratır.” anlayışı sona ermiş ve kişisel ihtiyaç özelliklerinin ön plana çıktığı nitelikli üretim ön plana çıkmıştır. Bu sebeple üretimin gerçekleştirilmesinden önce potansiyel müşterilerin zevk ve tercihlerinin göz önünde bulundurulması, KOBİ'ler açısından rekabetçi yapının sürdürülmesi için önemlidir. Bu husus göz ardı edildiğinde KOBİ'lerin diğer işletmelerle rekabet edebilme şansı kalmayacaktır.

Rekabete yönelik olarak ikinci husus yazılım ve bilişim uygulamalarının kullanımıdır. KOBİ'ler söz konusu uygulamalardan yararlandıkları sürece daha hızlı, daha kaliteli ve daha düşük maliyetli ürünler üretebilecek ve bu şekilde rekabette mukayeseli üstünlüğü elde edeceklerdir. Fayda maliyet ilişkisinin fayda lehine değişmesi, KOBİ'lerin rekabet gücünü yükseltecektir.

Günümüzde Türkiye’de KOBİ'lerin her birinin çok çeşitli alanlarda üretim yaptıkları görülmektedir. Ancak gelişen teknoloji uzmanlaşmayı gerektirmektedir. Bu yüzden rekabetin sürdürülebilmesini teminen KOBİ'lerin rekabet edebilecekleri alan seçimi yapmaları ve o alanlarda uzmanlaşarak en iyi olmaya çalışmaları gereklidir. Böylelikle her alanda sınırsız rekabetle baş etmek yerine en iyi oldukları daha kısıtlı bir alanda faaliyet göstermeleri, başarı şanslarını artıracaktır [40].

Son olarak rekabette Ar-Ge çalışmalarına değinmek gerekecektir. Endüstri 4.0 beraberinde şeffaflığı ve bilgi paylaşımını getirmektedir. Dolayısı ile açık bilgi her zamankinden daha yaygın duruma gelmiştir. Ancak bununla birlikte yine de KOBİ'lerin kendi Ar-Ge çalışmalarında elde ettikleri bilgi ve verileri korumaları, bununla birlikte tüm dünya çapında hakim olmaları gereken teknik bilgi ve araştırma sonuçlarına ulaşmaları, rekabetçi yapılarını devam ettirebilmeleri için önemlidir.

Böylelikle hem kendi Ar-Ge çalışmaları ile gelişim sağlayacak, hem de rakip işletmelerin bilgilerinden yararlanabileceklerdir. Burada bilginin rekabet açısından önemi daha iyi anlaşılmaktadır [41].

3.3.4. Endüstri 4.0 Uygulamalarının KOBİ'ler üzerindeki avantaj ve dezavantajları

Endüstri 4.0 uygulamalarını ve getirilerini bir sıçrama tahtası olarak kullanmayı başarabilen KOBİ'ler çok kısa sürede rakiplerini geride bırakabilecek ve büyük işletmeler içerisinde yer alabileceklerdir. Ancak hızla gelişen teknoloji ve üretim yöntemlerine ayak uyduramayan ve geleneksellik konusunda ısrarcı olan KOBİ'ler de çok kısa süre içerisinde yok olacaklardır. Bu sebeple KOBİ'lerin Endüstri 4.0'ın getirilerine karşı kayıtsız kalmaları ve bu süreci yok sayabilmeleri mümkün değildir. Dolayısıyla Endüstri 4.0'ın avantajlarından yüksek oranda faydalanmak ve dezavantajlı yönlerinin zararlarından sakınmak KOBİ'ler için zorunluluktur.

3.3.4.1. Endüstri 4.0 ın KOBİ'lere yönelik avantajları

Endüstri 4.0 uygulamaları ilk bakışta yüksek miktarda yatırımı gerektiren yoğun teknoloji içerikli uygulamalar gibi görünmektedir. Ancak içeriğine bakıldığında uygulamaların tamamının aynı paralelde olmadığı ve KOBİ'lerin endüstri 4.0' ın getirilerinden faydalanabilecekleri görülmektedir. Endüstri 4.0' ın KOBİ'lere sağlayabileceği faydalar şu şekildedir [42]:

- Endüstri 4.0 uygulamalarından faydalanan KOBİ'ler büyük ölçekli üretim olanağına kavuşurlar ve global rekabet içerisinde pazar pastasından daha yüksek pay alabilirler.
- Bilişim sistemleri sayesinde dünyanın herhangi bir yerinde gerçekleştirilen Ar-Ge faaliyetlerinden faydalanabilir, bu araştırmaları tekrar yapmak zorunda kalmaz ve hem zaman hem de finansman açısından fayda elde ederler.
- Özellikle bulut sistemler sayesinde daha fazla veriyi çok daha düşük maliyetle ve güvenilir bir biçimde depolama imkanına kavuşurlar.
- Teknoloji eksenli büyüme sayesinde en yüksek maliyet unsuru olan işgücü maliyetlerini düşürme fırsatına kavuşurlar.

- E-ticaret uygulamaları ile daha düşük bir maliyetle tüm dünya üzerindeki potansiyel alıcılara ulaşma fırsatı yakalarlar. Böylelikle pazarlama konusunda coğrafi kısıtlamalardan kurtulurlar.
- KOBİ'lerin depolama alanları küçük olduğundan kitlesel üretim yerine tüketiciye özel ürün üretimi sayesinde yer açısından kazanç elde ederler
- Makinelerin yoğun olarak kullanılması ile birlikte personelin kendisinden kaynaklanan hatalar minimize edilir. Özellikle KOBİ'lerde görev yapan kişilerin yüksek vasıflı işgücü olmadığı düşünüldüğünde, bu durumun üretim sürecinin etkinliğini artırması beklenmektedir.
- Üretim yöntemlerinin değişimi ile birlikte daha düşük enerji gideri olacaktır. bu durum da hem Endüstri 4.0 için katlanılan maliyetlerin çok daha kısa sürede geri dönmesi, hem de ortalama maliyetlerin düşmesi anlamına gelecektir. Böylelikle bütçe kısıtı içerisinde üretim yapan KOBİ'ler daha fazla üretimi aynı maliyet içerisinde yapabileceklerdir.

3.3.4.2. Endüstri 4.0' ın KOBİ'lere yönelik dezavantajları

Endüstri 4.0 uygulamalarını keskin bir bıçak gibi düşünebilmek mümkündür. Zira Endüstri 4.0 kendi içerisinde çok kuvvetli uygulamaları ve değişimleri barındırmaktadır ve bu uygulamalardan yeterince faydalanılamadığında da yarar yerine zarar vermesi mümkündür. Bu durum KOBİ'ler için de geçerlidir. Endüstri 4.0 uygulamalarının Türk KOBİ'leri üzerinde görülmesi muhtemel ilk dezavantaj borç stoku açısından olacaktır. Türkiye'de özel kesim borç stoku hali hazırda % 83 dolaylarındadır. Bu oranın 2002 yılında % 27 lerde olduğu düşünüldüğünde, Türkiye'nin borç miktarının çoğunluğunun özel kesim üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Yine özel kesimin sahip olduğu borç stokunun önemli bir kısmı da yine KOBİ'lere aittir. Aynı zamanda Türkiye'nin ihracatta ithalata bağılılık oranı 2016 yılı için % 66,3 düzeyinde gerçekleşmiştir [43]. Her iki veri bir arada değerlendirildiğinde; KOBİ'lerin ciddi bir finansman sorunu olduğu ve ihracat yapabilmek için önemli miktarda ithalat yapmanın gerekli olduğu görülmektedir. Bu sebeple teknoloji kullanımı arttıkça KOBİ'ler açısından üretimin ithalata olan bağılılığının çok daha artması beklenecektir. Ancak mevcut borç stokunun sonsuza dek artırılamayacağı düşünüldüğünde, bir noktadan sonra ithalatın ve ithalata bağlı olan üretimin ve ihracatın gerçekleştirilemeyeceği anlaşılabacaktır. Dolayısı ile üretim

konusunda yapısal düzenlemeleri yapamayan ve geleneksel üretimden yüksek teknolojiye geçiş konusunda hızlı davranamayan KOBİ'ler Endüstri 4.0 ile birlikte yok olma süreci yaşayabilirler [44].

Endüstri 4.0'ın Türkiye'de faaliyet gösteren KOBİ'ler üzerindeki ikinci olumsuz etkisi maliyetler üzerinde olacaktır. Türkiye, ithalatın çok büyük bir oranda kısıtlama olmadığı ve serbestçe yapılabildiği bir ülkedir. Aynı zamanda Türkiye'de yabancı sermayeli işletmeler de üretim yapmaktadır. Bu sebeple gerek iç piyasada gerekse de dış piyasada üretilen ürünlerin maliyetlerinin düşük olması ve kalite-maliyet oranının yüksek olması gerekmektedir. Ancak özellikle yurtdışı menşeli şirketlerin ileri teknoloji ve düşük maliyetler ile üretim yapması ve yine ithal ürünlerin benzer özelliklere sahip olması nedeniyle KOBİ'lerin mevcut konumları ile rekabet edebilmeleri mümkün olmayacaktır.

3.3.5. Endüstri 4.0 açısından KOBİ'lerin dikkat etmesi gereken hususlar

Endüstri 4.0 uygulamalarından daha fazla fayda sağlayabilmek ve olası zararların önüne geçebilmek için KOBİ'lerin bir takım uygulama farklılıklarına gitmeleri gerekmektedir. Klasik düşünce sistemi ile Endüstri 4.0 dan faydalanabilmek, KOBİ'ler için pek mümkün görünmemektedir. Bu sebeple aşağıda yer alan beş temel husus KOBİ'ler, Kamu Kuruluşları ve toplumsal fayda güden diğer kurumlar tarafından dikkate alınmalı farklılıklar uyumlaştırma yoluyla yük edilmeye çalışılmalıdır [45]:

- Çalışma Gruplarının ve Platformların Kurulması: Her KOBİ'nin Endüstri 4.0 uygulamalarını doğru okuması ve kendi kendine adaptasyonunu sağlaması bir hayli güçtür. Bu sebeple başta KOBİ'ler olmak üzere birlikler, teknoloji ve tasarım konusunda uzman kişiler, üniversiteler ve ilgili diğer kamu kuruluşlarının birlikte hareket edebilmeleri amacıyla çalışma grupları ve platformlar oluşturulmalıdır. Böylelikle Endüstri 4.0'ın her yönüyle değerlendirilmesi mümkün hale gelecektir.
- Öncelikli Sektörlerin Tespit Edilmesi: Türkiye'de KOBİ'ler neredeyse her alanda faaliyet göstermektedirler. Bununla birlikte her alanda aynı başarının elde edilebileceğinin söylenmesi mümkün değildir. Bu sebeple Endüstri 4.0 uygulamalarının çok kısa sürede uygulanabileceği ve somut çıktılarının alınabileceği sektörler belirlenmeli ve bu sektörler ağırlık verilmelidir. Böylelikle KOBİ'ler için

öncü sektörler oluşturulmuş olacak ve özellikle dış rekabet içerisinde mukayeseli bir üstünlük ele geçirilmiş olacaktır. Bu konuda özellikle bilgi desteği ve finansman desteği açısından kamu kurumlarına önemli görevler düşmektedir.

- KOBİ'lerin Ar-Ge Çalışmalarının Desteklenmesi: Ar-Ge çalışmaları hem çok maliyet isteyen hem de esas sonuçları orta ve uzun vadede görülen çalışmaları içerdiğinden KOBİ'lerin çoğunluğu ya hiç Ar-Ge faaliyetinde bulunmamakta, ya da birkaç personel ile yetersiz bir çalışma içerisine girmektedir. Ancak böyle bir çalışma biçimi hem kaynak israfının olmasına hem de Ar-Ge faaliyetlerinden gerekli sonuçlarının alınamamasına neden olmaktadır. Bu sebeple KOBİ'lerin Ar-Ge konusunda birlikte çalışmaları sağlanmalı ve her biri amatör çok sayıda Ar-Ge bölümünden ziyade daha az fakat çok daha kapsamlı Ar-Ge birimlerinin oluşturulması yoluna gidilmelidir. Bu çalışma tarzı aynı zamanda Ar-Ge konusunda tecrübeli ve nitelikli olan personelden de daha fazla yararlanılabilmesini sağlayacaktır.

- KOBİ'lerin Tasarım Geliştirme Gücünün Artırılması: Günümüzde en önemli değerlerin başında özgün fikirler ve tasarımlar gelmektedir. Özellikle KOBİ'lerin başarısı üzerinde doğrudan etki sahibi olacak unsur da özgün tasarımlardır. Katma değeri yüksek tasarımlar hem KOBİ'lerin pazarda üstünlük kurmasına yardımcı olacak hem de maliyet kârlılık ilişkisini kârlılık lehine çevirecektir. Böylelikle yoğun rekabet ortamında KOBİ'lerin gelişiminin sağlanması için geleneksel düşüncelerden kurtularak özgün üretime önem verilmesi gerekmektedir.

- Bilişim Teknolojilerinden Yararlanmanın Sağlanması: Endüstri 4.0'ın en önemli yanı çok gelişmiş bilişim teknolojilerini içerisinde barındırmasıdır. Esasen KOBİ'ler açısından durum değerlendirildiğinde, geleneksel sanayi yapısı içerisine bilişim ve bilgisayar teknolojisinin entegrasyonunun sağlanması ve böylelikle düşük maliyetle yüksek teknoloji ürünlerin üretilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

4. LİTERATÜR İNCELEME

Literatür de endüstri 4.0 ile ilgili çok çeşitli çalışmalar mevcut olmakla birlikte çok kriterli karar verme yöntemleri MACHBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation TecHnique) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) kullanılarak firmaların dijital dönüşüm yetkinliklerini belirlemeye yönelik bir çalışma bulunmamaktadır.

Endüstri 4.0 ile ilgili bilimsel çalışmalarla ilgili örnek vermek gerekirse:

Yapılan bir çalışmada potansiyel sürdürülebilir iş senaryoları tartışılarak, Endüstri 4.0'ın sürdürülebilir iş modelleri oluşturmak için nasıl kullanılabileceği hakkında araştırmalar için bir gündem önerilmektedir [46].

Wagner ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışma, Endüstri 4.0 ortamında nesnelerin ve hizmetlerin interneti ile bağlantılı akıllı bir fabrika vizyonunu tanıtmaktadır. Endüstri şirketlerinin başlangıç durumu yalın üretim sistemleri ve yalın prensiplerle karakterize edilmektedir. Geliştirme sürecini desteklemek için, yalın üretim sistemlerinde sunulan bir Endüstri 4.0 darbe matrisi konsepti kullanılabilir bir çerçeve sunmaktadır. Matris yardımı ile yalın üretim sistemlerinin unsurları sanayi 4.0 teknolojileri ile değerlendirilerek ilk etki ölçülmeye çalışılmaktadır. Matris, tam zamanında bir malzeme tedarik süreci için dengeleyici uygulamayı bulmak için kullanılmaktadır [47].

Yapılan başka bir çalışmada, Endüstri 4.0 dönüşümü için didaktik bir yaklaşım ile, Endüstri 4.0'ın yardımcı sistemleri ile oluşturulan bir öğrenme fabrikası içindeki ayar ve ayrıntılı senaryolar sunulmaktadır. Bu bağlamda, yardımcı sistemleri, üretim sistemlerinde artan karmaşıklığı, makinelerin ve otomatik montaj hatlarının duruşunu en aza indirirken iş başında öğrenme ve eğitim konusunda önemli bir rol oynayacağı belirtilmektedir. Özetle bu çalışma destek sistemlerinin bir üretim içindeki teknolojik etkisini göstermekte ve şirketlerin süreç verimliliğini önemli ölçüde artıracak kurumsal ve kişisel dönüşüm sürecini kapsamaktadır [48].

Bir başka çalışma, deneysel bazlı yeni bir model kurgulanarak, sanayi işletmelerinin sanayi 4.0'ın üretim alanındaki olgunluğunu değerlendirmek için kullanılmasını önermektedir. Burada amaç, yeni geliştirilen modellerin hakim olan teknoloji odağını organizasyonel yönler de içerecek şekilde genişletmektir. Genel olarak, sanayi 4.0 olgunluğunu değerlendirmek için 9 boyut tanımlanmıştır. Temel sağlayıcıları değerlendirmek için “Ürünler”, “Müşteriler”, “Operasyonlar” ve “Teknoloji” boyutları oluşturulmuştur. Ek olarak, “Strateji”, “Liderlik”, Yönetişim, “Kültür” ve “İnsan” boyutları, eklenerek organizasyonel unsurlar değerlendirmeye dahil edilmiştir. Daha sonra, model pratik bir araca dönüştürülerek birkaç şirkette test edilmiştir. Modelin yapısının ve içeriğinin ilk doğrulamaları, modelin şeffaf ve kullanımı kolay olduğunu ve gerçek üretim ortamlarında uygulanabilirliğini kanıtladığını göstermektedir [49].

EAFIT Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmada üretim mühendisliği programı için bir Öğrenme Fabrikası yapılandırmak amacıyla, eğitim amaçlı bir üretim atölyesinin dönüşüm süreci anlatılmaktadır. Önerilen dönüşümler, bir öğrenme fabrikasının gelişimi için üç sütunun (didaktik, bütünleyici ve mühendislik) tanımına dayanmaktadır. Uygun bir dönüşüm sürecinin, Endüstri 4.0 gibi yeni üretim trendlerine giden yolu, mühendislik eğitim sürecini güçlendiren akademik bir bağlamda kolaylaştırmaya katkıda bulunabileceğini savunulmaktadır [50].

Mrugalska ve Wyrwicka'nın yaptığı çalışmada, sürekli iyileştirme ve israflardan kaçınarak katma değerli faaliyetlere odaklanma ile ilgili olan yalın üretim şeklinin üretim ortamında yaygın olarak kullanımından yola çıkarak Endüstri 4.0 ile birlikte akıllı bir fabrika için gerekli olan akıllı makineler, ürünler, bileşenler, bireyler ile oluşan siber fiziksel sistemler ağının nasıl bir arada var olabileceği ilgili bir yaklaşım sunulmaktadır [51].

Scurati ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, Endüstri 4.0 teknolojilerinden biri olan artırılmış gerçeklik (AR) ile uzaktan bakım yapmayı mümkün kılan görsel bakım talimatlarının oluşturulmasına yönelik bir model oluşturulmak istenmiştir. Görsel talimatlarda geleneksel yöntemde olduğu gibi metin tanımlaması yapılması görüntüyü kapatacağı için bakım talimatlarını temsil etmek için artırılmış gerçeklik

de kullanılmak üzere kontrollü ve ayrıntılı bir grafik semboller listesi oluşturularak uzaktan bakım için gerçek bir AR uygulamasında bütünleştirilmiştir [52].

Bir diğer araştırmada, Endüstri 4.0 ile birlikte insanlar, sistemler ve nesneler arasındaki bağlantıların daha karmaşık, dinamik, gerçek zamanlı optimize edilmiş bir ağ haline geldiği vurgulanmaktadır. Gerçek zamanlı olarak veri hacminin artırılması gerekliliği, alt yapı, yönetim, teknoloji ve benzeri uygulamalar için yeni gereksinimlere olan ihtiyaçlar doğrultusunda Endüstri 4.0 kapsamında risk yönetimini uygulamak için anahtar unsurlar belirlenerek bir model tasarımı yapılması hedeflenmiştir [53].

Tjahjono ve arkadaşları, Endüstri 4.0 vizyonu ile otonom bir şekilde birbiri ile bilgi alışverişi yapabilen ve birbirini kontrol eden siber fiziksel sistemlerin akıllı fabrikanın bağımsız olarak çalışmasına olanak sağlayacağı bir gelecekte, tedarikçiler, imalatçılar ve müşteriler arasındaki işbirliğinin tüm adımlarda şeffaflığını artırmanın çok önemli olduğunu belirtmektedirler. Bu bağlamda Endüstri 4.0'ın bir bütün olarak tedarik zinciri üzerindeki etkilerini analiz etmek için bir çalışma yapmıştır [54].

Dumbrowski ve arkadaşları ise yalın üretim sistemleri ve Endüstri 4.0 arasındaki karşılıklı bağımlılıkların ayrıntılı bir analizini sağlamak için, Alman endüstrisinde Endüstri 4.0 teknolojilerinin kullanım durumuna dayanan 260 vaka çalışması üzerinden Endüstri 4.0 unsurlarını teknolojiler, sistemler ve süreçler ile ilgili özelliklere göre yapılandırmışlardır. Daha sonra, endüstri 4.0 ve yalın üretim sistemlerinin ilkeleri arasındaki bağımlılıklar ile ilgili kullanım durumları analiz edilmiştir [55].

5. ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YÖNTEMLERİ

Çok kriterli karar verme, matematik, yönetim, enformatik psikoloji, sosyal bilimler ve ekonomi gibi birden çok disiplinin bir araya gelip karar alıcıya birden fazla boyutla karar problemini değerlendirme ve karar alma imkanı sağlayan yöntemlerin bir araya getirildiği bir yapıdır.

Günümüzde çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılan çok fazla teknik olmakla beraber, gelişen teknoloji sayesinde bu tekniklerin uygulanması için geliştirilen bilgisayar programları problemleri çözmeye çalışan karar vericilere büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu bölümde dijital dönüşüm yetkinliklerinin belirlenmesi için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden MACHBETH ve TOPSIS yönteminden bahsedilecektir.

5.1. MACHBETH Yöntemi

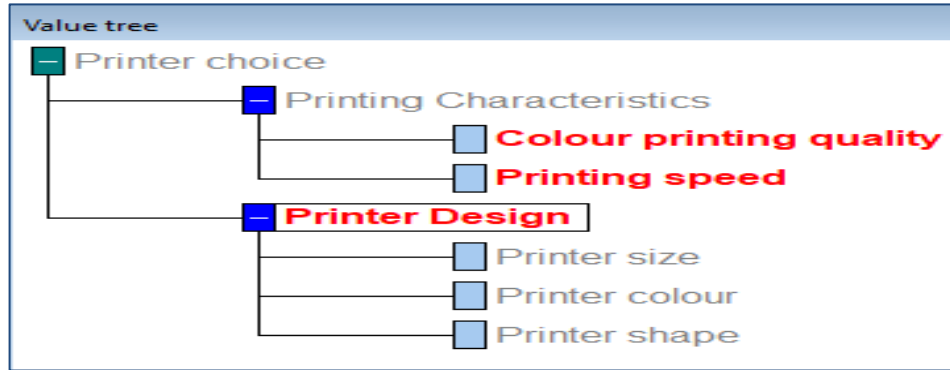
Çok değişkenli karar verme tekniklerinden biri olan MACHBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) yöntemi 1990'lı yıllarda C.A. Bana e Costa, J.C. Vasnick ve J.M. De Corte tarafından geliştirilmiştir. Yöntem, karar vericilere kalitatif yargılardan yola çıkarak kantitatif bir karar verme olanağı sağlamaktadır. Karar verici tarafından belirlenen kalitatif bilgiler M-MACBETH programına girilirken program yazılım sistemi, girilen kalitatif değerlendirmelerin tutarlığı konusunda bir doğrulama yapmakta ve eğer girilen kalitatif değerler arasında tutarsızlık varsa bunların çözümü için teklifler sunmaktadır [56].

MACHBETH yöntemi kullanılarak seçenekler arasında bir sıralama ve tercih yapma dört aşamada gerçekleştirilmektedir. Bu aşamalardan ilki, probleme ait seçenekler arasındaki tercihin belirlenmesinde etkili olan kriterlerin ortaya konmasıdır. Burada problemin genel yapısının görülmesini sağlayan bir değer ağacı oluşturulur. İkinci aşama, ikili karşılaştırmalar yapmaktır. Hem kriterlerin görece önemlerinin

belirlenmesini hem de her bir kriter için seçeneklerin birbiri ile karşılaştırılmasını içeren bu aşama sonucunda karşılaştırma matrisleri oluşturulur.

Üçüncü aşamada oluşturulan karşılaştırma matrislerindeki muhtemel uyumsuzluklar aranır. Eğer bu aşamada ikil karşılaştırmalarda bir tutarsızlık söz konusu ise kullanıcının yapmış olduğu yargıları gözden geçirerek düzeltmeler yapması beklenir. Yöntemin etkin bir şekilde çalışabilmesi için karşılaştırma matrisleri içinde bir uyumsuzluğun olmaması önemlidir. Son olarak doğrusal programlama yardımı ile karşılaştırma matrislerinden yola çıkarak kriterlerin ağırlıkları ve seçeneklerin kriterlerdeki puanları hesaplanır. Bu aşamalar dışında isteğe bağlı olarak seçeneklerin tercih düzeylerindeki değişikliklerinin sonuçlarını gösteren bir duyarlılık analizi de yapılabilmektedir.

MACHBETH yöntemi, problemi bir değer ağacı yada hiyerarşi yapısı içerisinde yapılandırmaktadır. Öncelikle karar verici tarafından seçenekler arasında etkili olması muhtemel kriterlerin ortaya konması gerekmektedir. İlgili kriterler belirlendikten sonra Şekil 5.1’de gösterildiği şekilde bir değer ağacı yapısı içinde konumlandırılarak problemin yapısı görsel olarak ortaya konmuş olacaktır [57].



Şekil 5.1. MACHBETH Değer Ağacı Yapısı

Problem yapısı oluşturulduktan sonra problemin çözümü için üç tür puanlamanın hesaplanması gerekmektedir.

- Kriterlerin ağırlıklandırılması, her bir kriterin amaca yönelik olarak etkilerini gösteren ağırlıklardır.
- Seçenek puanları, belli bir kritere göre her bir seçeneğin tercih edilme düzeylerini göstermektedir.

- Seçenek genel puanları, ağırlıklandırma kriterleri ve seçeneklere ilişkin puanlar, genel puanların hesaplanabilmesi için kullanılan ara sonuçlardır. Seçenek puanları belli bir kritere göre seçenekler arasında sıralama yaparken seçenek genel puanları ise tüm kriterleri göz önünde bulundurarak bir sıralama yapılabilmesini sağlamaktadır.

Her bir kriterin görece etkisini belirlemek için ikili karşılaştırmalar yapılır. Ardından tüm seçenekler her bir kriter için ayrı ayrı ikili olarak karşılaştırılır. MACHBETH, aralık ölçekler kullanarak karşılaştırmalar yapan bir yöntemdir. Bu yüzden kullanıcıların öncelikle iki seçenek arasındaki tercih edilme düzeyleri ile ilgili olarak kalitatif yargılar yapması gerekmektedir. MACHBETH yöntemi değerlendirmeler için Tablo 5.1’de görülen 7 kategorili ölçek kullanmaktadır [58].

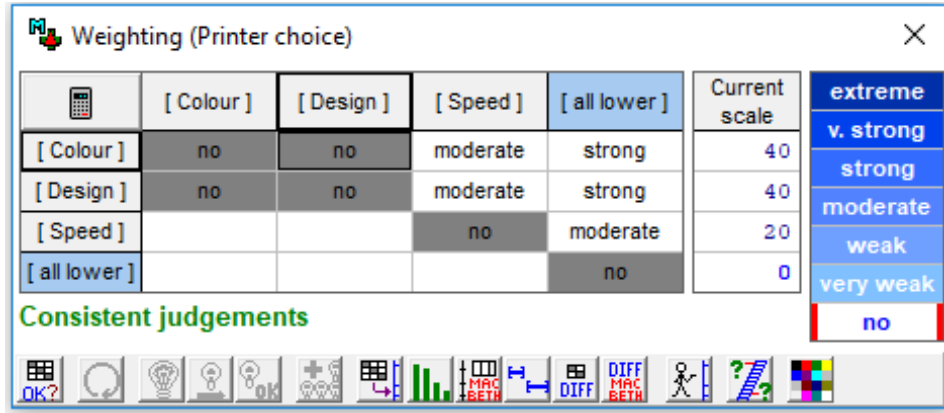
Tablo 5.1. MACHBETH Anlamsal Kategori

Anlamsal Kategoriler	Kantitatif Ölçek	Açıklama
Yok (No)	0	Alternatifler arasında fark yok
Çok Zayıf (Very Weak)	1	Bir alternatif diğerine göre çok zayıf derecede önemli
Zayıf (Weak)	2	Bir alternatif diğerine göre zayıf derecede önemli
Orta Derece (Moderate)	3	Bir alternatif diğerine göre orta derecede önemli
Güçlü (Strong)	4	Bir alternatif diğerine göre güçlü derecede önemli
Çok Güçlü (Very Strong)	5	Bir alternatif diğerine göre çok güçlü derecede önemli
Aşırı (Extreme)	6	Bir alternatif diğerine göre aşırı derecede önemli

Karar vericinin kendine, iki seçeneğin tercih edilme düzeyleri arasındaki farkın ne ölçüde olduğunu sorarak ikili karşılaştırmaları yapması gerekmektedir. Eğer kullanıcı hangi seçeneği seçeceğinden emin değilse uygun olduğunu düşündüğü birden fazla kategoriye seçebilme imkânına sahiptir.

Seçeneklerin matrise tercih sırasına göre dizilmesi tutarlılığın kontrol edilmesini kolaylaştıracaktır. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi karşılaştırma matrislerinde alt üçgen

matrisin üst kısmı ile aynı verileri gösterdiği için sadece üst üçgenin doldurulması yeterlidir [57].



Şekil 5.2. MACHBETH Karşılaştırma Matrisi

Kriterlerin görece önem derecelerini ve seçeneklerin her bir kriter için karşılaştırmalarını gösteren tutarsızlık içermeyen karşılaştırma matrisleri oluşturulduktan sonra doğrusal programlama yardımı ile kriterlerin ağırlıkları ve seçenek puanları elde edilmektedir. Burada kriter ağırlıkları, toplamaları “1” olacak şekilde hesaplanır. Seçenek puanlarının bulunmasında ise en az tercih edilen seçenek sıfıra eşitlenip kullanıcının yargılarını yansıtan ve karar tablolarında belirtilmiş tercihlerin sayısal karşılıkları hesaplanır.

Çözümde kullanılan doğrusal programlama modeli şu şekilde formüle edilmektedir;

Amaç fonksiyonu denklem (5.1)’ deki gibi ifade edilir,

$$\min \varphi(o) \quad (5.1)$$

Burada $\varphi(o_1)$ en çok tercih edilen kriter, seçeneğin puanını göstermektedir.

Değişkenler denklem (5.2)’ deki gibi ifade edilir,

$$\varphi(o_i), i \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (5.2)$$

Burada kriter, seçenek sayısı, n ile gösterilmektedir. Modelde ordinal koşullar, semantik koşullar ve sıfırlama koşulu olmak üzere üç tür kısıt yer almaktadır.

Ordinal koşullar denklem (5.3) ve denklem (5.4)’ de görüldüğü gibi ifade edilir,

$$\forall o_i, o_j, i, j \in \{1, 2, \dots, n\}: o_i > o_j \Rightarrow \varphi(o_i) \geq \varphi(o_j) + \delta(i, j) \quad (5.3)$$

$$\forall o_i, o_j, i, j \in \{1, 2, \dots, n\}: o_i = o_j \Rightarrow \varphi(o_i) = \varphi(o_j) \quad (5.4)$$

Burada $\delta(i, j)$ ve o_i ve o_j arasındaki tercih edilme düzeyi farklılığını göstermektedir.

Semantik koşullar denklem (5.5)' de görüldüğü gibi ifade edilir,

$$\forall o_i, o_j, o_k, o_l, i, j, k, l \in \{1, 2, \dots, n\}: \varphi(o_i) - \varphi(o_j) \geq \varphi(o_k) - \varphi(o_l) + \delta(i, j, k, l) \quad (5.5)$$

Burada $\delta(i, j, k, l)$, o_i ve o_j arasındaki tercih edilme düzeyi farklılığı ile o_k ve o_l arasındaki tercih edilme düzeyi farklılığı arasındaki anlamsal kategori sayısını göstermektedir.

Sıfırlama koşulu denklem (5.6)' da görüldüğü gibi ifade edilir,

$$\varphi(o_n) = 0 \quad (5.6)$$

Sıfırlama koşulu en az tercih edilen seçeneğin puanının “0” olmasını sağlamaktadır. Aralık ölçeğe dayalı olan MACHBETH yönteminde tercih düzeyi en düşük olan seçeneğin sıfırlanması bir gerekliliktir. Ancak bu koşul kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılmaz. Aksi takdirde genel amaca yönelik tercihte en az öneme sahip olan kriterin etkili olmadığını gösterir. Böyle bir durumla karşılaşmamak için kriterlerin ağırlıklarının belirlendiği doğrusal programlama modeline son kısıt dahil edilmez. Son olarak seçenek puanları kriter ağırlıkları ile çarpılarak toplanır. Böylelikle seçeneklere ait puanlar ile seçenekler arasında bir sıralama yapmak ve en iyi tercihi belirlemek mümkündür [56].

5.2. TOPSIS Yöntemi

TOPSIS (Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilmiş çok nitelikli karar verme yöntemlerinden birisidir. Karar verme sürecinde alternatifler arasından en iyi seçimin yapılmasına imkan tanıyan bir tekniktir. TOPSIS yöntemi kompleks algoritmalar içermeyen oldukça basit bir yöntemdir. Anlaşılmasının kolay olması ve sonuçlarının yorumlanmasında zorluk yaşanmaması nedeni ile tedarik zinciri yönetimi, tedarikçi

seçimi, lojistik, mühendislik, insan kaynakları uygulamaları, finansal uygulamalar gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

TOPSIS yöntemi ile karar verirken seçilen bir alternatifin ideal çözüme yakın olması ve ideal olmayan çözüme (negatif ideal) uzak olması beklenir. Eğer amacımız getiri ise ideal çözüme yakınlık demek getirinin maksimizasyonu, negatif çözüme uzaklık ise maliyetin minimizasyonu anlamına gelmektedir. Alternatifler içinden ideal olan çözüme yakın, negatif ideal çözüme uzak olanı seçilir.

TOPSIS yönteminin ilk aşaması karar matrisinin oluşturulmasıdır. Karar matrisinden hareketle normalize edilmiş karar matrisi elde edilerek karar matrisi ağırlıklandırılır. İdeal ve negatif ideal çözüme olan uzaklıklar hesaplanır. Son olarak her bir alternatifin göreceli puanları hesaplanarak alternatiflerin sıralaması gerçekleştirilir.

Adım 1; karar matrisinin oluşturulması için $m \times n$ boyutunda satırlarda karar noktalarını gösterirken sütunlarda ise faktörlere yer verilir. Bu matris denklem (5.7)'deki gibi gösterilmiştir;

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mp} \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

Adım 2; karar matrisi oluşturulduktan sonra her bir a_{ij} değerlerinin $(a_{11}, a_{21}, \dots, a_{m1})$ kareleri alınarak bu değerlerin toplamından oluşan sütun toplamı elde edilir ve her bir a_{ij} değeri ait olduğu sütun toplamının kareköküne bölünerek normalizasyon işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem denklem (5.8)'de gösterilmiştir;

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (5.8)$$

Normalize matris denklem (5.9)'deki gibi elde edilir;

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & \cdots & n_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{m1} & \cdots & n_{mp} \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

Adım 3; normalize edilmiş matrise ait her bir değer w_i gibi bir değerle ağırlıklandırılır. Ağırlıklandırma işlemi TOPSIS yönteminin sübjektif yönünü ortaya koymaktadır. Çünkü ağırlıklandırma işlemi faktörlerin önem derecesine göre

yapılmaktadır. Topsis yönteminin tek sübjektif parametresi ağırlıklardır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta w_i değer toplamalarının 1'e eşit olmasıdır. Normalize matris ile elde edilen n_{ij} değerleri w_i ağırlıkları ile çarpılarak denklem (5.10)'da gösterildiği gibi ağırlıklandırılmış normalize matris (V matrisi) elde edilir.

$$V = \begin{bmatrix} w_1 n_{11} & \cdots & w_n n_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 n_{m1} & \cdots & w_n n_{mp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{11} & \cdots & v_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \cdots & v_{mp} \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

Adım 4; ağırlıklandırılmış normalize matris (V matrisi) elde edildikten sonra problemin yapısına bağlı kalmak koşulu ile yani amaç maksimizasyon ise her bir sütuna ait maksimum değerler elde edilir. Bu maksimum değerler ideal çözüm değerleridir. Daha sonra her bir sütuna ait minimum değerler elde edilir. İdeal ve negatif ideal çözüm değerlerine ait denklem (5.11) ve denklem (5.12)'de gösterilmiştir;

İdeal çözüm değerleri her bir sütuna ait maksimum değerler alınarak belirlenir.

$$A^* = \{\max_j v_{ij} | j=1, \dots, p; i=1, \dots, m\} \Rightarrow A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \quad (5.11)$$

Negatif ideal çözüm değerleri her bir sütuna ait minimum değerler alınarak belirlenir.

$$A^- = \{\min_j v_{ij} | j=1, \dots, p; i=1, \dots, m\} \Rightarrow A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \quad (5.12)$$

Adım 5; ideal ve negatif ideal noktalara olan uzaklık değerleri hesaplanırken öklidyen uzaklık kullanılmaktadır. İdeal uzaklık denklem (5.13)'deki gibi hesaplanmaktadır. Negatif ideal uzaklık denklem (5.14)'deki gibi hesaplanmaktadır; Burada karar noktası kadar S_i^* ve S_i^- olacaktır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (5.13)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (5.14)$$

Adım 6; her bir karar noktasının ideal çözüme göreli yakınlığının hesaplanmasında ideal ve ideal olmayan noktalara uzaklıklardan yararlanılır. İdeal çözüme göreli

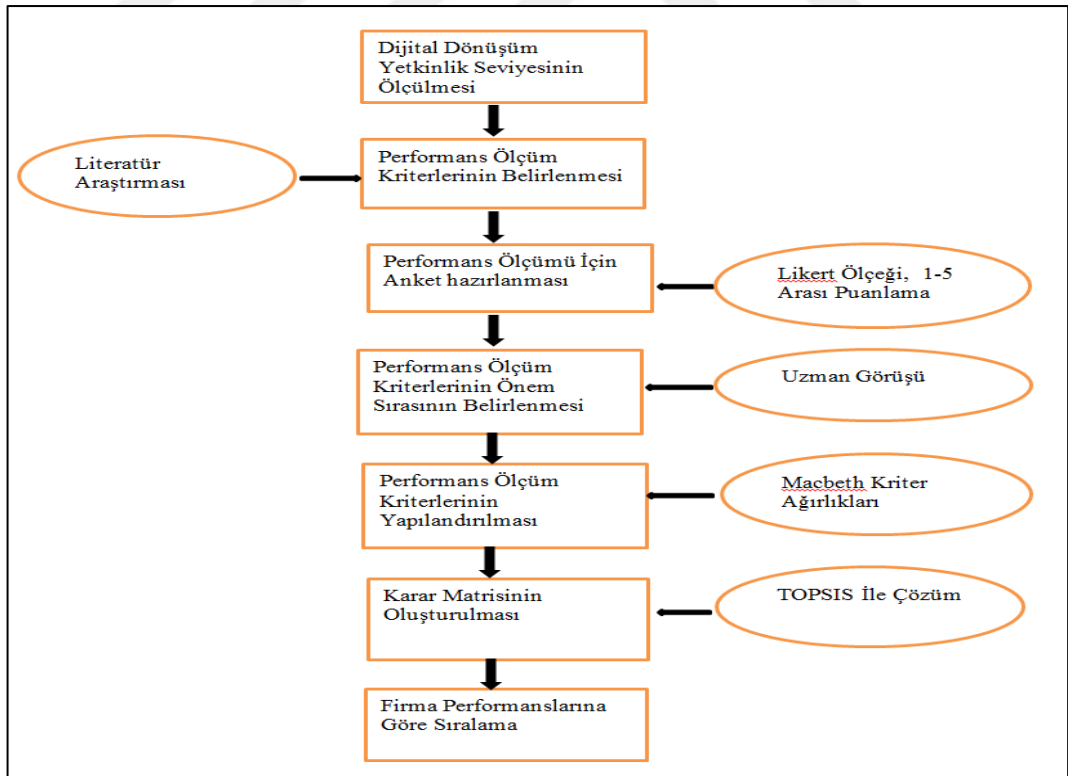
yakınlık C_i^* ile sembolize edilir. Burada C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında değer alır. $C_i^* = 1$ ilgili karar noktasının ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterirken, $C_i^* = 0$ ise ilgili karar noktasının negatif ideal çözüme mutlak yakınlığını gösterir. Hesaplama denklem (5.15) ile ifade edilir [59];

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (5.15)$$

6. UYGULAMA

Bu bölümde çok kriterli karar verme yöntemleri MACBETH ve TOPSIS kullanılarak beyaz eşya sektöründe yardımcı sanayi konumunda olan 7 firmanın dijital dönüşüm performanslarını belirlemek amacı ile yetkinliklerinin analiz edebileceği bir çalışma yapılmıştır. Şekil 6.1 de görüldüğü gibi uygulama adımları:

- Performans ölçüm kriterlerinin belirlenmesi,
- Kriterler bazında performans değerlendirme için anket uygulanması,
- Performans ölçüm kriterlerinin önem sırasının belirlenmesi,
- MACHBETH yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılması,
- TOPSIS yöntemi ile karar matrisinin oluşturulması ve firmaların dijital dönüşüm performanslarına göre sıralanması olarak belirlenmiştir.



Şekil 6.1. Uygulama Akış Şeması

Türkiye’de üretim alanında faaliyet gösteren firmaların dönüşüm yolculuğunun hangi evresinde olduklarının analiz edilmesi için TÜSİAD’ın 2017 yılında BCG (Boston Consulting Group) ile birlikte, yapmış olduğu “Türkiye’nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği Raporu” çalışması referans alınarak performans değerlendirme kriterleri belirlenmiştir [60].

Uygulamada kullanılacak performans ölçüm kriterleri firmaların operasyonel kabiliyetlerini belirleyecek şekilde yapılandırılmıştır. Firmalarda dijital dönüşüm yetkinliğinin belirlenmesi için 4 ana kriter; teknoloji kullanım seviyesi, personel alt yapısı, yalın üretim uygulama seviyesi ve üretim yönetim araçları kullanım seviyesi olarak belirlenmiştir. Her bir ana kriter için Tablo 6.1’de görüldüğü gibi toplam 23 alt kriter üzerinden ölçüm yapılacak bir sistem tasarlanmıştır.

Tablo 6.1. Dijital Dönüşüm Yetkinlik Kriterleri

Kriter Adı	Sınıf	Kısa Adı
1. Teknoloji Kullanım Seviyesi	Ana Kriter	X ₁
Bulut	Alt Kriter	X ₁₁
Yapay Zeka		X ₁₂
Veri Güvenliği		X ₁₃
Robot ve Otomasyon Sistemler		X ₁₄
Sensor		X ₁₅
Büyük Veri		X ₁₆
Nesnelerin İnterneti		X ₁₇
Simülasyon		X ₁₈
Arttırılmış Gerçeklik		X ₁₉
Eklemeli Üretim		X ₁₀
2. Personel Alt Yapısı	Ana Kriter	X ₂
Yetkin Personel	Alt Kriter	X ₂₁
Personel Yetkinliğini Arttırıcı Faaliyetler		X ₂₂
Personel İhtiyaç Planlaması		X ₂₃
3. Yalın Üretim Uygulama Seviyesi	Ana Kriter	X ₃
SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi)	Alt Kriter	X ₃₁
TPM (Toplam Verimli Bakım)		X ₃₂
5S		X ₃₃
VSM (Değer Akış Haritalama)		X ₃₄
KANBAN		X ₃₅
Performans Göstergeleri		X ₃₆
4. Üretim Yönetim Araçları Kullanım Düzeyi	Ana Kriter	X ₄
ERP (Kurumsal Kaynak Planlama)	Alt Kriter	X ₄₁
MES (Üretim Yönetim Sistemi)		X ₄₂
Akıllı Depo Uygulamaları		X ₄₄
EDI (Elektronik Veri Değişimi)		X ₄₅

Firmaların dijital dönüşüm seviyesinin belirlenebilmesi için 5 kategorili Likert ölçeğine göre toplam 23 sorudan oluşan bir anket hazırlanarak firmaların bilgi işlem, endüstri mühendisliği, proses iyileştirme birimlerine gönderilmiştir ve verilerin sayısal olarak elde edilmesi sağlanmıştır (Ek-A). Zaman ve süreç açısından kısıt bulunduğu için anket uygulaması beyaz eşya sektöründe KOBİ sınıfında bulunan kısıtlı bir firma grubuna uygulanmıştır. Örnek alınan 7 firma üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Bununla birlikte çalışma kapsamı genişletilerek daha büyük bir örnek grup üzerinde uygulama yapılması mümkündür.

Kriterlerin birbirine göre önem sıralarının belirlenmesinde teknolojik dönüşüm konusunda çalışan uzman kişilerin görüşlerinin ortalaması alınarak öncelikle ana kriterlerin birbirine göre önem sıraları belirlenmiştir. Devamında herbir ana kritere ait alt kriter grubu kendi aralarında değerlendirilerek birbirlerine göre önem sıralaması yapılmıştır. Kriter ağırlıkları çok değişkenli karar verme tekniklerinden biri olan MACHBETH yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sonraki aşamada firmaların dijital dönüşüm yetkinliklerinin belirlenmesi için TOPSIS yöntemi kullanılarak çalışma tamamlanmıştır.

6.1. Performans Değerlendirme Kriterleri

Bu kısımda performans değerlendirme kriteri olarak belirlenen kriterlerin Endüstri 4.0 dönüşümündeki önemi açıklanmıştır.

6.1.1. Teknoloji kullanım seviyesi

Endüstri 4.0 teknolojileri olarak adlandırılan bulut bilişim, büyük veri, nesnelerin interneti, robot ve otomasyon sistemler gibi unsurlar olmadan firmalar için dijital dönüşüm den bahsetmek mümkün değildir. Bu nedenle endüstri 4.0 yolculuğunda firmaların bu teknolojilere yatırım yapmaları kaçınılmaz olacaktır. Teknoloji kullanım seviyesinin boyutlarını anlamak için belirlenen alt kriterler; bulut, yapay zeka, veri güvenliği, robot ve otomasyon sistemler, sensör, büyük veri, nesnelerin interneti, simülasyon, arttırılmış gerçeklik ve eklemeli üretim olarak belirlenmiştir.

6.1.2. Personel alt yapısı

Dijital dönüşüm için gerekli olan sistemlerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi ve yönetilebilmesi için firmaların daha yetkin personel alt yapısına ihtiyacı vardır. Uzman görüşlerden alınan cevaplara göre hızlı bir dönüşüm için yetkin işgücünün firma bünyesinde olması hızlı ve doğru kararların alınmasını sağlayacak olup dijital dönüşüm sürecini hızlandıracaktır. Bunun yanında mevcut personelin yetkinliğinin artırılması önemli bir unsurdur. Nitelikli işgücünün oluşturulması konusunda insanların yetiştirilmesi ya da mevcut personel kaynağının eğitilmesi oldukça uzun zaman alacaktır. Personel alt yapısının oluşturulabilmesi için bir diğer seçenek dışarıdan yetkin personellerin istihdam edilmesi olacaktır. Bu bağlamda firmaların doğru adımları atması için dijital dönüşüm konusunda insan kaynakları politikaları ile ilgili bir strateji yol haritası oluşturması çok önemlidir [59].

6.1.3. Yalın üretim uygulama seviyesi

Yalın üretim felsefesi, israf kaynaklarını yok edilmesine dayanan sürekli iyileştirmeler ile üretim sisteminin verimliliğini arttırmaya yönelik sistematik bir yaklaşım sunar. Yalın üretim tekniklerinin Endüstri 4.0 teknolojileri ile ortak bir noktada buluştuğuna dair birçok araştırma mevcuttur. Yalın üretim tekniklerinin yeni sanayi devrimi ile birlikte yok olmayacağını aksine yeni teknolojilerin entegrasyonu için sağlam bir alt yapı oluşturacağı söylenebilir. Bu bağlamda yalın üretim tekniklerini uygulayan firmaların endüstri 4.0 dönüşümüne daha az maliyetle ve daha hızlı adapte olacağı öngörülerek, dijital dönüşüm yetkinlik seviyesinin ölçülmesinde yalın üretim uygulama seviyesi bir kriter olarak alınmıştır. Bu kritere ait alt kriterler ise; SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi), TPM (Toplam Verimli Bakım), 5S, VSM (Değer Akış Haritalama), Kanban, Performans göstergeleri olarak belirlenmiştir.

6.1.3.1. SMED (Single Minute Exchange of Dies) tekli dakikalarda kalıp değişimi

SMED tekli dakikalarda kalıp değişimi yöntemi ile amaçlanan ürün dönüşümlerinde hazırlık süresini azaltarak, kalıp değişim sıklığını arttırmaktır. Bu yöntem küçük partilerde üretim yapma olanağı sağlayacağı için stok miktarını düşürmekte stok

devir hızını arttırmaktır. Tam zamanında üretim için gerekli olan bir yalın üretim yöntemidir. Mevcut yöntemde standardize edilmiş kalıp, makine ve bağlantı elamanları ile iç işlemlerin dış işlemlere dönüştürülmesi sağlanarak hazırlık süresinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Dijital dönüşüm ile birlikte, bu yöntemin uygulama şeklinin değişmesi muhtemeldir. Fabrikaların akıllı fabrikalara dönüşeceği düşünüldüğünde akıllı raflarda bekleyen kalıpların, sistemden üretim emrinin gelmesi ile birlikte dakikalar belki saniyeler içinde AGV (Automatic Guided Vehicle) kendinden güdümlü araçlar ile üretim hatlarına ulaştırılması, robot kollar yardımı ile bağlantı koordinatları sistemde tanımlı makinelere saniyeler içinde bağlanması çok uzak bir ihtimal değildir. Bu bağlamda dijital dönüşüm yolculuğunda SMED tekniğini tecrübe edinmiş firmaların dönüşüme daha hızlı adapte olacağı öngörülmektedir.

6.1.3.2. TPM (Total Productive Maintenance) toplam verimli bakım

TPM, makine ve ekipman etkinliğini en üst düzeye getirmeyi hedefleyen, otonom bakım faaliyetleri ile tüm çalışanların katılımını sağlayan, arızaları oluşmadan önlemeye yönelik bir yaklaşımdır. TPM, otonom bakım faaliyetleri ile makine bakımında tüm çalışanların katılımı sağlanarak sıfır kaza, sıfır arıza, sıfır hata, sıfır küçük duruş, sıfır hurda hedefine ulaşmayı amaçlar. Tam zamanında üretim için makine ve ekipmanların sorunsuz çalışması çok önemli bir faktördür. Akıllı sistemler ile birlikte TPM faaliyetleri de farklı bir boyut kazanmıştır. Sensörler yardımı ile makine, robot ve sistemde oluşan anormal davranışların toplanarak analiz edilebileceği, arızalar oluşmadan önce değişmesi gereken parçaların otonom robotlar tarafından değiştirileceği, arıza durumlarında otonom robotların birbirlerini tamir edeceği bir sisteme doğru ilerlenmektedir. TPM faaliyetlerini kurum kültürü haline getirmiş firmalar sahip olduğu makine ve sistemler ile ilgili kabiliyetlerini arttırdıkları için dijital dönüşüme daha hızlı adapte olabileceklerdir.

6.1.3.3. 5S

5S, Japonca SEIRI (Ayıklama), SEITON (Düzenleme), SEISO (Temizlik), SEIKETSU (Standartlaştırma) ve SHITSUKE (Disiplin) kelimelerin baş harflerinin birleştirilmesi ile ifade edilen bir toplam kalite yöntemidir. Temiz, düzenli ve yüksek verimliliğe sahip bir işyerinin oluşturulması ve devamlılığının sağlanması için

kullanılan sistematik bir yaklaşımdır. Diğer iyileştirme çalışmalarının temelini oluşturmaktadır. Düzenli bir işyeri zaman kayıplarını minimize ederek tam zamanında, esnek bir üretime katkı sağlayacağı için bu yaklaşımın akıllı fabrikalarda da uygulanmaya devam edeceği düşünülmektedir. Bu kapsamda dijital dönüşüm yetkinliğinin belirlenmesinde etkin bir kriter olarak belirlenmiştir.

6.1.3.4. VSM (Value Stream Mapping) değer akış analizi

Ürünü gerçekleştirmek için hammaddenin firmaya gelişinden nihai müşteriye ulaşana kadar sürdürülen tüm aktivitelerin optimizasyonunu sağlamak için resmedilerek analiz edilmesidir. Malzeme akışı, bilgi akışı, yarı mamul stokları, ayar süreleri, parti büyüklüğü, takt zamanı gibi bilgiler yardımı ile sistemde dar boğazların şematik olarak gösterilmesini sağlar. Katma değer yaratmayan üretim hataları, fire, yeniden işleme, fazla üretim, stok, gereksiz hareketler, beklemler olarak nitelendirilen israf kaynaklarının tespit edilmesini ve elimine edilmesini sağlar. Mevcut durumun analiz edilmesi ve gelişim potansiyelini görmek açısından etkili bir yöntemdir. Firmaların bahsedilen yöntemleri uygulama şekli farklılık gösterebilir bu nedenle dijital dönüşüm yolculuğunda, firmalar ancak kendine uygun şekilde projeler üreterek başarıyı yakalayabilirler. Bu bağlamda Endüstri 4.0'ın sunduğu sürekli gelişimi sisteme entegre etmek için Endüstri 4.0 projelerinin doğru belirlenmesi ve teknoloji araçlarının doğru seçilmesi çok önemlidir. Bu bağlamda, VSM, en büyük faydayı sağlayacak noktalara odaklanmak için en iyi yöntem olarak nitelendirilebilir.

6.1.3.5. Kanban

Kanban, Japoncada kart anlamına gelmektedir. Üretim ve malzeme akışını kontrol etmek için kullanılan bir üretim yönetim aracıdır. Kanban sisteminde, sonraki prosesler önceki proseslerden sadece tükettikleri miktarda ve zamanda parça talep eder ve çekerler. Kanban üretim sisteminde, üretim çizelgesinin son üretim prosesine gönderilmesi yeterlidir. Hangi ürünün, ne zaman ve ne miktarda üretilceğinin sadece son proses tarafından bilinmesi bu prosesin önceki proseslerden sadece kendine gereken parçaları çekmesini sağlar, prosesler arasına oluşacak ara stokları ve stok dalgalanmalarının minimize edilmesini sağlar. Tam zamanında üretimin temelini oluşturan bu yöntem RFID teknolojisinin gelişmesi ile birlikte elektronik

kanban sistemine dönüşmeye başlamıştır. Dijital dönüşüm yolculuğunda kanban sistemini uygulayan firmaların daha hızlı ve az maliyetle dönüşebileceği söylenebilir.

6.1.3.6. Performans göstergeleri

Performans göstergeleri, mevcut süreçlerin iş üzerindeki etkinliğini ölçmek amacıyla şirketler tarafından belirlenen parametrelerdir. Göstergeleri karşılaştırmak için hedefler belirlenir, düzenli ölçümler ile gerçek durum tespiti yapılır. Performans göstergeleri firmanın mevcut konumunu, gidilen yönü ve zaman içinde kaydedilen iyileşmeleri gösterir. Bu bağlamda performans göstergeleri firmalara mevcut durumlarını analiz etme ve buna karşılık önlem almalarına yardımcı olacağı için dijital dönüşüm yetkinliğini etkileyen bir kriter olarak kabul edilmiştir.

6.1.4. Üretim yönetim araçları

Bulut, büyük veri analizleri, yatay ve dikey entegrasyon gibi teknolojilerin uygulamaları otomasyon sistemler, kurumsal kaynak planlama ve üretim yönetim araçları üzerine entegre edilmesi gereklidir [57]. Bu bağlamda yapılan çalışmada 4 ana kriterden biri olarak üretim yönetim araçları kategorisi altında ERP (Enterprise Resource Planning) kurumsal kaynak planlama, akıllı depo sistemleri, üretim takip sistemleri, EDI (Electronic Data Interchange) elektronik veri değişimi dijital dönüşüm seviyesinin ölçülmesi için üretim yönetim araçları alt kriterleri olarak belirlenmiştir.

6.1.4.1. ERP (Enterprise Resource Planning) kurumsal kaynak planlama

ERP (Enterprise Resource Planning) kurumsal kaynak planlama finans, muhasebe, satınalma, proje yönetimi ve üretim gibi günlük iş faaliyetlerini yönetmek üzere kullanılan sistemler ve yazılım paketleridir. Kurumsal kaynak planlama verilerin ortak bir veri tabanında tutarlı bir şekilde toplanmasını sağlayarak verilerin doğru bir şekilde analiz edilmesine olanak sağlar, karar vericilerin doğru karar almasına katkıda bulunur. Endüstri 4.0 ile birlikte kendi kendini yönetebilen, denetleyen, karar alan akıllı fabrikalara doğru sanayide dijital dönüşüm yolculuğu başlamıştır. Birbiri ile haberleşen nesneler, makineler sistemler ile tam entegre çalışan bir ağ sisteminde

ERP daha da merkezi bir konuma gelecek ve bu ağ sisteminin omurgasını oluşturacaktır.

6.1.4.2. MES (Manufacturing Executing System) üretim yürütme sistemi

MES sistemi, güncel ve gerçek zamanlı verileri robot, operatör, makine monitörlerinden anlık olarak alarak, üretim sırasında oluşabilecek her türlü aktiviteyi yönetir ve raporlanmasını sağlar. Oluşabilecek her türlü aksaklıkla ilgili olarak, ilgili birimleri bilgilendirir ve önlem alınabilmesine olanak verir. Verimli bir üretim ve sorunsuz bir akış için önemli bir araçtır. ERP sistemi ile entegre çalışan bir üretim yürütme sistemi dijital dönüşüm için önemli bir araç olarak tanımlanabilir.

6.1.4.3. Akıllı depo

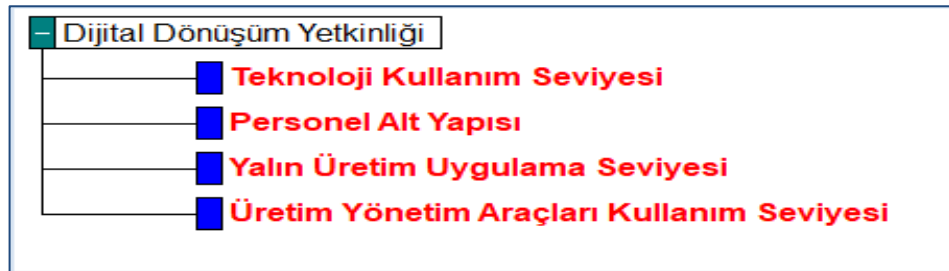
Akıllı depo sistemleri, bilgisayar kontrollü donanım ve yazılım ile birlikte, robot, sensör ve raf sistemlerinden oluşan entegre bir sistemdir. Klasik depolama yönteminde forklift gibi depo araçlarının çalışma mesafesi için palet ebatına oranla daha geniş bir alan kullanım ihtiyacı yaratmaktadır. Akıllı depo sistemlerinde entegre edilen robot sistemler ile hem dar alanda çalışma olanağı yaratılarak hem de insansız çalışma yapıldığı için güvenlik riskleri ortadan kaldırılarak dikine depolama işlemi yapılarak alan tasarrufu sağlanmaktadır. Ürün, kasa, palet üzerindeki RFID (Radio Frequency Identification) radyo frekanslı tanımlama yada barkod sistemler ile okutma işlemleri yapılarak belli bir adreslemeye ihtiyaç duymadan boş olan raflara depolanması sağlanmaktadır. Dinamik depo sayesinde FIFO (First In First Out, LIFO (Last In First Out) yada FEFO (First Expire Date First Out) gibi ürünler için tanımlanan depolama yöntemine göre depolanması yada depodan çıkışı otomatik olarak yapılmaktadır. Endüstri 4.0 ile birlikte akıllı depo sistemleri üretim sistemleri ile entegre hale gelecek olup hangi vardiyada hangi hammadde, yarı mamüle gereksinim var ise yazılımlar ve kendinden güdümlü araçlar aracılığı ile ana depodan çıkan malzemeler el değmeden üretim hatlarına ulaştırılacaktır. Aynı şekilde üretim hatlarından çıkan mamuller ürün depolarına götürülerek sevk edilmeyi bekleyecektir. Bu bağlamda akıllı depo sistemleri dijital dönüşüm için önemli bir kriterdir.

6.1.4.4. EDI (Electronic Data Interchange) elektronik veri değişimi

EDI, bir řiřletmenin dięer řiřletmelerle olan her tűrlű iř evrakı alıřveriřini elektronik olarak ve belirli bir veri standardı yardımıyla gerçekleřtirilmesi iřlemidir. Tedarik zinciri içerisinde yűksek seviyelerde entegrasyon ve koordinasyon için gerekli olan sık ve otomatik bilgi transferini kolaylařtırdıęı için EDI nemlidir. Koordinasyon, tedarik zincirinin entegrasyonu için tamamlayıcı bir parça rolű űstlenmektedir. řiřletmeler stok dűzeylerini izlemeye stok izleme sistemi ile stok dűzeyleri sűrekli izlenerek otomatik olarak EDI satınalma sipariři tedarikçiye iletilebilir. Bu satın alınan parça için emniyet stokunu azaltırken çevrim sűresinin de azalmasını saęlamaktadır. Daha yűksek bir dűzeyde deęiřimde ise, řiřletmeler, sipariřlerin direkt olarak tedarikçilerinin űretim planlama ve kontrol yazılımlarına iletmesini saęlayacak yeteneklerini geliřtirebilirler. Tam zamanında űretim prensiplerinin gerçekleřtirilmesi, bűyűk lűde tedarik zinciri űyeleri arasında koordinasyonun saęlanabilmesine baęlı olmaktadır. EDI, sipariřlerin bilgisayarda izlenebilmesini ve tam zamanında teslimatın gerçekleřtirilebilmesini műmkűn kılmaktadır [61].

6.2. MACHBETH Yöntemi İle Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

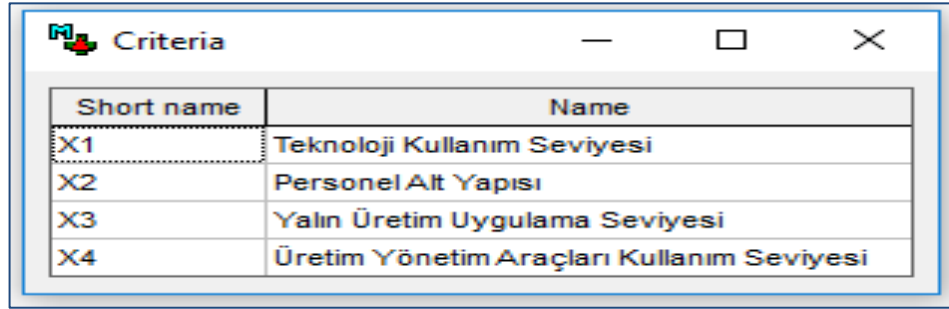
Ağırlıkların belirlenmesi için Costa, De Corta ve Vasnick tarafından geliştirilen M-Machbeth programı kullanılmıştır. İlk olarak ana kriterler için değer ağacı yapısı oluşturulmuştur (şekil 6.2). Sonraki aşamada her bir ana kriter önem sırasına göre matrise yerleştirilmiştir.



řekil 6.2. Dijital Dnűřűm Yetkinlięi Deęer Aęacı

Kriterler arasında en önemli olduęu dűřűnűlen ve performans sıralamasında belirleyici olan kriter teknoloji kullanım seviyesidir. Sırası ile dięer kriterler personel alt yapısı, yalın űretim uygulama seviyesi ve űretim yönetim araçları kullanım

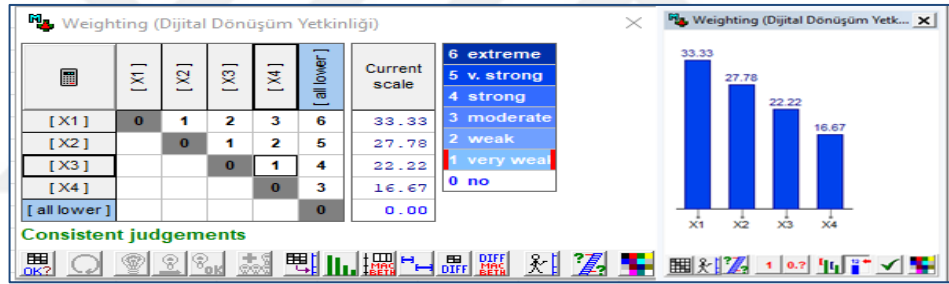
seviyesi olarak belirlenmiştir. Kriter tanımlamalarının uzun olması nedeni ile çözüm adımlarında kriter tanımları Şekil 6.3’ de görüldüğü gibi kısa isimlerle belirtilmiştir.



Short name	Name
X1	Teknoloji Kullanım Seviyesi
X2	Personel Alıt Yapısı
X3	Yalın Üretim Uygulama Seviyesi
X4	Üretim Yönetim Araçları Kullanım Seviyesi

Şekil 6.3. Ana Kriter Kısa İsimleri

Tanımlanan kriterler önem derecesine göre soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru sıralandıktan sonra yöntemin 7 kategorili ölçek değerlerine göre ikili biçimde kıyaslanarak ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 6.4).

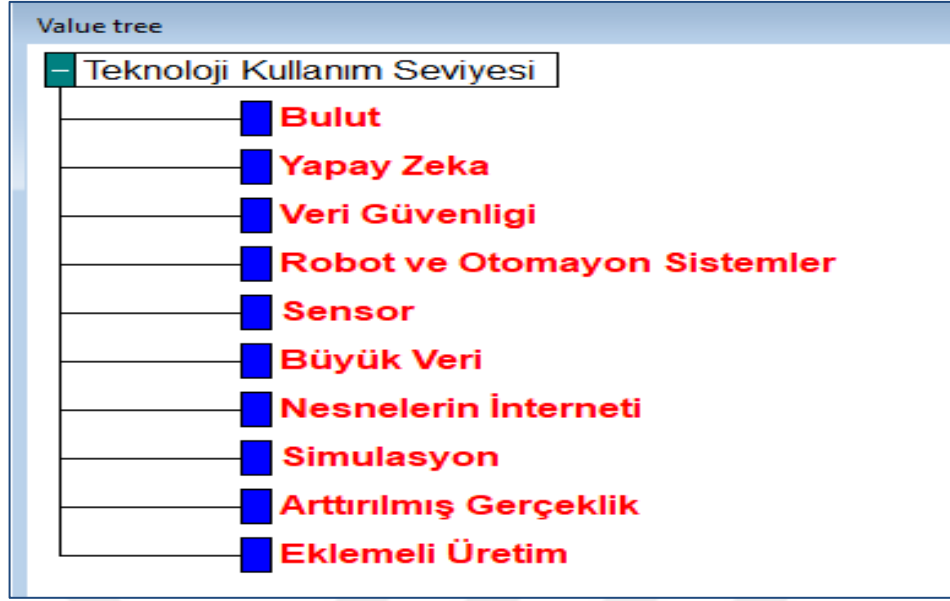


Şekil 6.4. Ana Kriter Ağırlık Matrisi

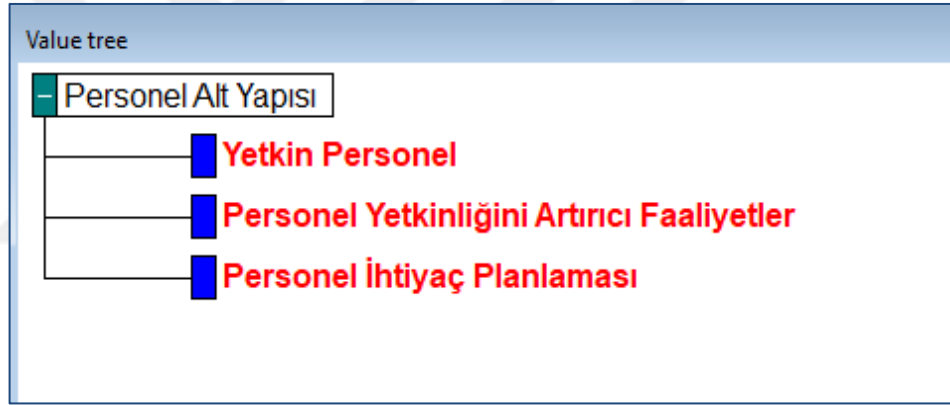
Tablo 6.2’ deki gibi ana kriter ağırlıkları belirlendikten sonra ana kriterlere ait alt kriterler için aynı işlemler tekrarlanarak M-Macbeth programında değer ağacı yapısı oluşturulmuştur (Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8).

Tablo 6.2. Ana Kriter Ağırlıkları

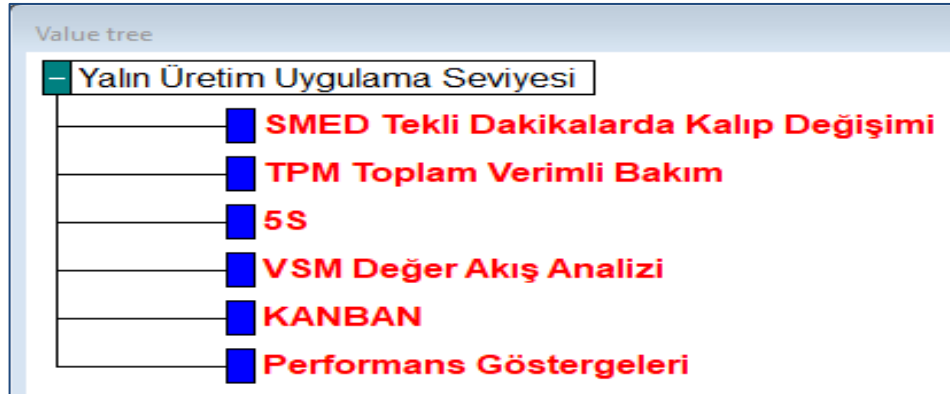
Ana Kriter	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Ağırlıklar	0,3333	0,2778	0,2220	0,1667



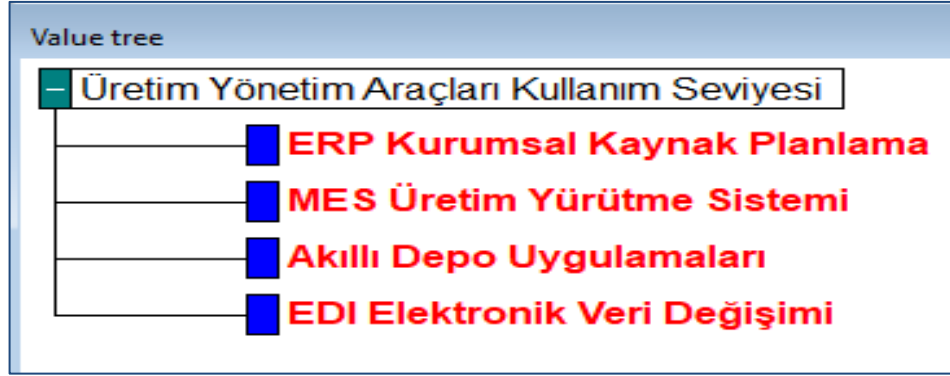
Şekil 6.5. Teknoloji Kullanım Seviyesi Değer Ağacı Yapısı



Şekil 6.6. Personel Alt Yapısı Değer Ağacı Yapısı



Şekil 6.7. Yalın Üretim Uygulama Seviyesi Değer Ağacı Yapısı



Şekil 6.8. Üretim Yönetim Araçları Kullanım Seviyesi Değer Ağacı Yapısı

Alt kriter tanımları da devam eden çözüm adımlarında kısa isimlerle belirtilmiştir (Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12).

Short name	Name
X11	Bulut
X12	Yapay Zeka
X13	Veri Güvenliği
X14	Robot ve Otomasyon Sistemler
X15	Sensor
X16	Büyük Veri
X17	Nesnelerin İnterneti
X18	Simulasyon
X19	Arttırılmış Gerçeklik
X110	Eklemeli Üretim

Şekil 6.9. Teknoloji Kullanım Seviyesi Alt Kriter Kısa İsimleri

Short name	Name
X21	Yetkin Personel
X22	Personel Yetkinliğini Artırıcı Faaliyetler
X23	Personel İhtiyaç Planlaması

Şekil 6.10. Personel Alt Yapısı Alt Kriter Kısa İsimleri

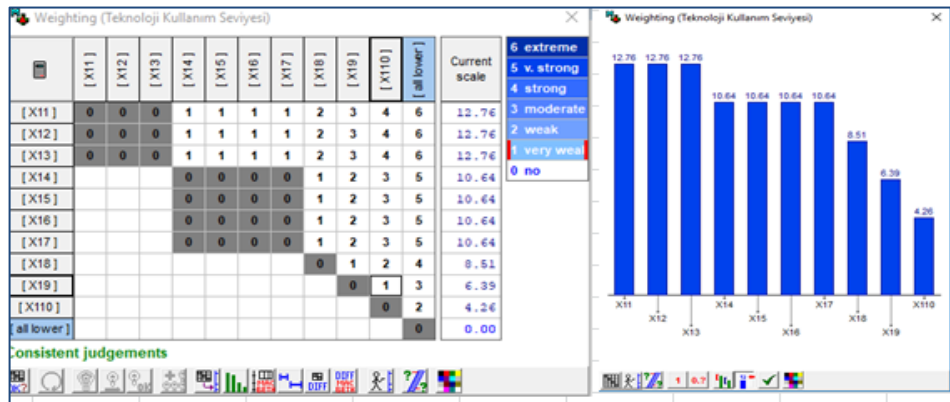
Short name	Name
X31	SMED Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi
X32	TPM Toplam Verimli Bakım
X33	5S
X34	VSM Değer Akış Analizi
X35	KANBAN
X36	Performans Göstergeleri

Şekil 6.11. Yalın Üretim Uygulama Seviyesi Alt Kriter Kısa İsimleri

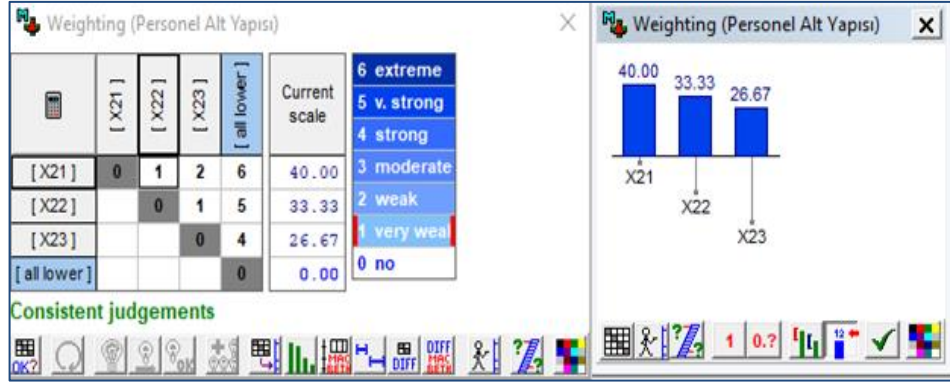
Short name	Name
X41	ERP Kurumsal Kaynak Planlama
X42	MES Üretim Yürütme Sistemi
X43	Akıllı Depo Uygulamaları
X44	EDI Elektronik Veri Değişimi

Şekil 6.12. Üretim Yönetim Araçları Kullanım Seviyesi Alt Kriter Kısa İsimleri

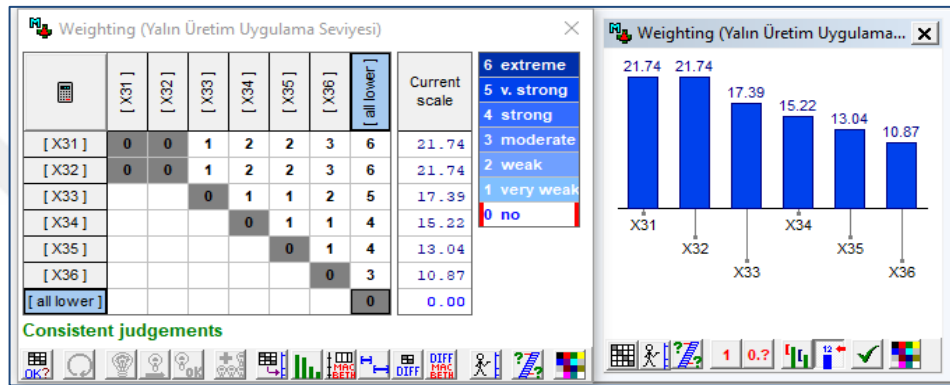
Dört ana kriter altında tanımlanan her bir alt kriter önem derecesine göre soldan sağa ve yukarıdan aşağıya doğru sıralandıktan sonra yöntemin MACBETH 7 kategorili ölçek değerlerine göre ikili biçimde kıyaslanarak ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16).



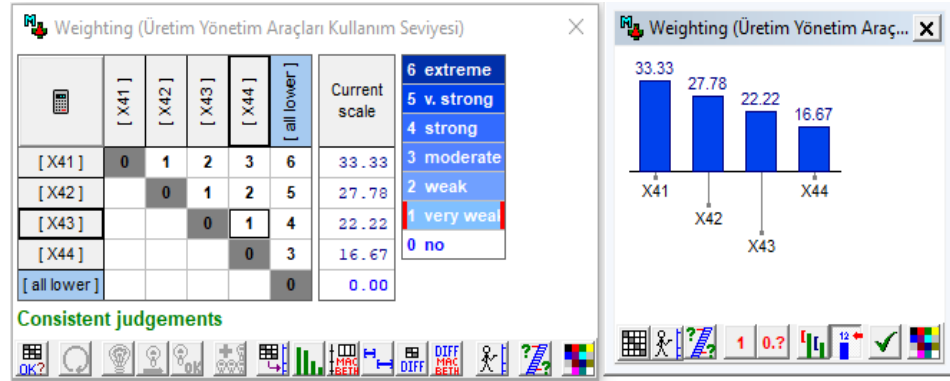
Şekil 6.13. Teknoloji Kullanım Seviyesi Alt Kriter Ağırlık Matrisi



Şekil 6.14. Personel Alt Yapısı Alt Kriter Ağırlık Matrisi



Şekil 6.15. Yalın Üretim Uygulama Seviyesi Alt Kriter Ağırlık Matrisi



Şekil 6.16. Üretim Yönetim Araçları Alt Kriter Ağırlık Matrisi

Yargıların tutarlı olması çözümün doğru sonuç vermesi açısından çok önemlidir. M-MACBETH programı ile yargıların tutarlılığı kontrol edilerek girilen yargıların tutarlı oldukları belirlenmiştir. M-MACBETH yazılımı doğrusal programlama modelleri kullanarak sıralı performans seviyelerini uygun olan sayısal MACBETH ölçeğine dönüştürmüştür. MACBETH yöntemi ile elde edilen kriter ağırlıkları Tablo 6.3' de gösterilmiştir.

Tablo 6.3. Alt Kriter Ağırlıkları

Teknoloji Kullanım Seviyesi Alt Kriterleri	Ağırlık	Personel Alt Yapısı Alt Kriterleri	Ağırlık	Yalın Üretim Uygulama Seviyesi Alt Kriterleri	Ağırlık	Üretim Yönetim Araçları Kullanım Seviyesi	Ağırlıklar
X ₁₁	0,1276	X ₂₁	0,4000	X ₃₁	0,2174	X ₄₁	0,3333
X ₁₂	0,1276	X ₂₂	0,3333	X ₃₂	0,2174	X ₄₂	0,2778
X ₁₃	0,1276	X ₂₃	0,2667	X ₃₃	0,1739	X ₄₃	0,2222
X ₁₄	0,1064			X ₃₄	0,1522	X ₄₄	0,1667
X ₁₅	0,1064			X ₃₅	0,1304		
X ₁₆	0,1064			X ₃₆	0,1087		
X ₁₇	0,1064						
X ₁₈	0,0851						
X ₁₉	0,0639						
X ₁₁₀	0,0426						

Tüm ana kriter ve alt kriterlerin ağırlıkları belirlendikten sonra etkilerinin birlikte hesaplamaya dahil edilmesi için Tablo 6.4’ deki gibi alt kriter ağırlıkları ana kriter ağırlıkları ile çarpılarak hesaplamalara dahil edilecek kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Tablo 6.4. Kriter Ağırlıkları

Kriter	Ağırlık	Kriter	Ağırlık	Kriter	Ağırlık	Kriter	Ağırlık
X ₁₁	0,0425	X ₂₁	0,1111	X ₃₁	0,0483	X ₄₁	0,0556
X ₁₂	0,0425	X ₂₂	0,0926	X ₃₂	0,0483	X ₄₂	0,0463
X ₁₃	0,0425	X ₂₃	0,0741	X ₃₃	0,0386	X ₄₃	0,037
X ₁₄	0,0355			X ₃₄	0,0338	X ₄₄	0,0278
X ₁₅	0,0355			X ₃₅	0,029		
X ₁₆	0,0355			X ₃₆	0,0242		
X ₁₇	0,0355						
X ₁₈	0,0284						
X ₁₉	0,0213						
X ₁₁₀	0,0142						

6.3. TOPSIS Yöntemi İle Dijital Dönüşüm Yetkinliğinin Sıralanması

TOPSIS yöntemi ile uygun işlem adımlarının belirlenmesi için Excel tablo ve denklemleri kullanılmıştır.

Adım 1, beyaz eşya sektöründe yardımcı sanayi olarak faaliyet gösteren KOBİ sınıfındaki 7 firmanın anket cevaplarına verdikleri puanlamalar ile karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 6.5). Kriterlere ait ağırlıklar M-MACHBETH programı ile hesaplanarak tabloya eklenmiştir.

Tablo 6.5. Karar Matrisi

Kriter	Firma 1	Firma 2	Firma 3	Firma 4	Firma 5	Firma 6	Firma 7	Wij
X ₁₁	2	3	2	4	2	2	2	0,0425
X ₁₂	1	2	1	1	1	2	1	0,0425
X ₁₃	5	5	4	4	5	4	2	0,0425
X ₁₄	4	4	4	4	5	5	4	0,0355
X ₁₅	3	4	4	3	3	3	2	0,0355
X ₁₆	2	3	2	2	1	2	2	0,0355
X ₁₇	2	3	2	2	2	4	2	0,0355
X ₁₈	4	3	3	1	2	1	3	0,0284
X ₁₉	2	2	1	1	1	1	2	0,0213
X ₁₁₀	2	5	2	3	3	3	2	0,0142
X ₂₁	3	5	3	4	3	2	1	0,1111
X ₂₂	3	5	2	3	4	2	3	0,0926
X ₂₃	2	5	2	3	2	3	2	0,0741
X ₃₁	3	1	4	3	4	1	2	0,0483
X ₃₂	4	4	4	5	2	4	2	0,0483
X ₃₃	4	4	4	4	4	3	3	0,0386
X ₃₄	3	2	3	2	5	4	2	0,0338
X ₃₅	2	4	5	4	4	1	1	0,0290
X ₃₆	5	5	4	5	5	5	2	0,0242
X ₄₁	5	5	5	5	5	5	2	0,0556
X ₄₂	4	2	2	2	1	3	1	0,0463
X ₄₃	3	1	3	1	2	1	2	0,0370
X ₄₄	1	2	4	1	2	1	2	0,0278

Adım 2, Tablo 2’ de görüldüğü gibi her bir kriter değerinin satır değerlerinin kareleri alınarak bu değerlerin toplamından oluşan satır toplamı elde edilir ve aij satırındaki her bir değer, denklem (6.1) ve denklem (6.2)’ deki gibi ait olduğu satır toplamının kareköküne bölünerek normalize edilmiş değerler elde edilir;

Tüm kriter satırları için aynı işlem tekrarlanarak normalize edilmiş karar matrisi oluşturulmuştur. Aşağıda X_{11} kriteri için örnek hesaplama görülmektedir.

$$N_{111} = \frac{2}{\sqrt{2^2 + 3^2 + 2^2 + 4^2 + 2^2 + 2^2 + 2^2}} = 0,29814 \quad (6.1)$$

$$N_{112} = \frac{3}{\sqrt{2^2 + 3^2 + 2^2 + 4^2 + 2^2 + 2^2 + 2^2}} = 0,44721 \quad (6.2)$$

Tablo 6.6. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Kriter	Firma 1	Firma 2	Firma 3	Firma 4	Firma 5	Firma 6	Firma 7	Wij
X_{11}	0,29814	0,44721	0,29814	0,59628	0,29814	0,29814	0,29814	0,0425
X_{12}	0,27735	0,5547	0,27735	0,27735	0,27735	0,5547	0,27735	0,0425
X_{13}	0,44368	0,44368	0,35494	0,35494	0,44368	0,35494	0,17747	0,0425
X_{14}	0,35082	0,35082	0,35082	0,35082	0,43853	0,43853	0,35082	0,0355
X_{15}	0,35355	0,4714	0,4714	0,35355	0,35355	0,35355	0,2357	0,0355
X_{16}	0,36515	0,54772	0,36515	0,36515	0,18257	0,36515	0,36515	0,0355
X_{17}	0,29814	0,44721	0,29814	0,29814	0,29814	0,59628	0,29814	0,0355
X_{18}	0,57143	0,42857	0,42857	0,14286	0,28571	0,14286	0,42857	0,0284
X_{19}	0,5000	0,5000	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500	0,5000	0,0213
X_{110}	0,2500	0,6250	0,2500	0,3750	0,3750	0,3750	0,2500	0,0142
X_{21}	0,3511	0,5852	0,3511	0,4682	0,3511	0,2341	0,1170	0,1111
X_{22}	0,3441	0,5735	0,2294	0,3441	0,4588	0,2294	0,3441	0,0926
X_{23}	0,2604	0,6509	0,2604	0,3906	0,2604	0,3906	0,2604	0,0741
X_{31}	0,4009	0,1336	0,5345	0,4009	0,5345	0,1336	0,2673	0,0483
X_{32}	0,4061	0,4061	0,4061	0,5077	0,2031	0,4061	0,2031	0,0483
X_{33}	0,4041	0,4041	0,4041	0,4041	0,4041	0,3030	0,3030	0,0386
X_{34}	0,3560	0,2374	0,3560	0,2374	0,5934	0,4747	0,2374	0,0338
X_{35}	0,2250	0,4500	0,5625	0,4500	0,4500	0,1125	0,1125	0,0290
X_{36}	0,4152	0,4152	0,3322	0,4152	0,4152	0,4152	0,1661	0,0242
X_{41}	0,4029	0,4029	0,4029	0,4029	0,4029	0,4029	0,1612	0,0556
X_{42}	0,6405	0,3203	0,3203	0,3203	0,1601	0,4804	0,1601	0,0463
X_{43}	0,5571	0,1857	0,5571	0,1857	0,3714	0,1857	0,3714	0,0370
X_{44}	0,1796	0,3592	0,7184	0,1796	0,3592	0,1796	0,3592	0,0278

Adım 3, M-MACHBETH programı ile hesaplanan kriter ağırlıkları denklem (6.3) ve denklem (6.4)' de görüldüğü gibi normalize edilmiş karar matrisindeki değerler ile çarpılarak ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulmuştur (Tablo 6.7);

$$V_{111} = 0,29814 \times 0,0425 = 0,0127 \quad (6.3)$$

$$V_{112} = 0,44721 \times 0,0425 = 0,0190 \quad (6.4)$$

Tablo 6.7. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Kriter	Firma 1	Firma 2	Firma 3	Firma 4	Firma 5	Firma 6	Firma 7	Wij
X ₁₁	0,0127	0,0190	0,0127	0,0254	0,0127	0,0127	0,0127	0,0425
X ₁₂	0,0118	0,0236	0,0118	0,0118	0,0118	0,0236	0,0118	0,0425
X ₁₃	0,0189	0,0189	0,0151	0,0151	0,0189	0,0151	0,0075	0,0425
X ₁₄	0,0124	0,0124	0,0124	0,0124	0,0156	0,0156	0,0124	0,0355
X ₁₅	0,0125	0,0167	0,0167	0,0125	0,0125	0,0125	0,0084	0,0355
X ₁₆	0,0129	0,0194	0,0129	0,0129	0,0065	0,0129	0,0129	0,0355
X ₁₇	0,0106	0,0159	0,0106	0,0106	0,0106	0,0211	0,0106	0,0355
X ₁₈	0,0162	0,0122	0,0122	0,0041	0,0081	0,0041	0,0122	0,0284
X ₁₉	0,0106	0,0106	0,0053	0,0053	0,0053	0,0053	0,0106	0,0213
X ₁₁₀	0,0035	0,0089	0,0035	0,0053	0,0053	0,0053	0,0035	0,0142
X ₂₁	0,0390	0,0650	0,0390	0,0520	0,0390	0,0260	0,0130	0,1111
X ₂₂	0,0319	0,0531	0,0212	0,0319	0,0425	0,0212	0,0319	0,0926
X ₂₃	0,0193	0,0482	0,0193	0,0289	0,0193	0,0289	0,0193	0,0741
X ₃₁	0,0194	0,0065	0,0258	0,0194	0,0258	0,0065	0,0129	0,0483
X ₃₂	0,0196	0,0196	0,0196	0,0245	0,0098	0,0196	0,0098	0,0483
X ₃₃	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156	0,0156	0,0117	0,0117	0,0386
X ₃₄	0,0120	0,0080	0,0120	0,0080	0,0201	0,0161	0,0080	0,0338
X ₃₅	0,0065	0,0130	0,0163	0,0130	0,0130	0,0033	0,0033	0,0290
X ₃₆	0,0100	0,0100	0,0080	0,0100	0,0100	0,0100	0,0040	0,0242
X ₄₁	0,0224	0,0224	0,0224	0,0224	0,0224	0,0224	0,0090	0,0556
X ₄₂	0,0297	0,0148	0,0148	0,0148	0,0074	0,0222	0,0074	0,0463
X ₄₃	0,0206	0,0069	0,0206	0,0069	0,0138	0,0069	0,0138	0,0370
X ₄₄	0,0050	0,0100	0,0200	0,0050	0,0100	0,0050	0,0100	0,0278

Adım 4, her bir kriter satırına ait maksimum değerler dikkate alınarak ideal çözüm değerleri, her bir kriter satırına ait minimum değerler dikkate alınarak negatif çözüm değerleri belirlenmiştir (Tablo 6.8).

Tablo 6.8. İdeal ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri

Kriter	İdeal Çözüm Değerleri	Negatif İdeal Çözüm Değerleri
X ₁₁	0,0254	0,0127
X ₁₂	0,0236	0,0118
X ₁₃	0,0189	0,0075
X ₁₄	0,0156	0,0124
X ₁₅	0,0167	0,0084
X ₁₆	0,0194	0,0065
X ₁₇	0,0211	0,0106
X ₁₈	0,0162	0,0041
X ₁₉	0,0106	0,0053
X ₁₁₀	0,0089	0,0035
X ₂₁	0,0650	0,0130
X ₂₂	0,0531	0,0212
X ₂₃	0,0482	0,0193
X ₃₁	0,0258	0,0065
X ₃₂	0,0245	0,0098
X ₃₃	0,0156	0,0117
X ₃₄	0,0201	0,0080
X ₃₅	0,0163	0,0033
X ₃₆	0,0100	0,0040
X ₄₁	0,0224	0,0090
X ₄₂	0,0297	0,0074
X ₄₃	0,0206	0,0069
X ₄₄	0,0200	0,0050

Adım 5, ideal ve negatif ideal olmayan noktalara uzaklığın hesaplanmasında öklidyen uzaklık kullanılarak ideal çözüme en yakın uzaklık ile negatif ideal çözüme en uzak uzaklık hesaplanmıştır. Örnek hesaplama olarak Firma 1 değerleri ile S1* ve S1- uzaklık değerleri denklem (6.5) ve denklem (6.6)' da görüldüğü gibi tüm firmalar için hesaplanmıştır (Tablo 6.9);

$$S1^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (0,0127-0,0254)^2 + (0,0118-0,0236)^2 + \dots (v_{ij}-v_j^*)^2} = 0,0541 \quad (6.5)$$

$$S1^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (0,0127-0,0127)^2 + (0,0118-0,0118)^2 + \dots (v_{ij}-v_j^*)^2} = 0,0432 \quad (6.6)$$

Tablo 6.9. İdeal ve İdeal Olmayan Noktalara Uzaklık Değerleri

Firma	Si*	Si̇
Firma 1	0,0541	0,0432
Firma 2	0,0306	0,0755
Firma 3	0,0563	0,0468
Firma 4	0,0461	0,0521
Firma 5	0,0520	0,0471
Firma 6	0,0659	0,0319
Firma 7	0,0760	0,0190

Adım 6, ideal çözüme göreli yakınlığın hesaplanmasında ideal ve ideal olmayan noktalara uzaklıklardan yararlanılmıştır. İdeal çözüme göreli yakınlık değerleri denklem (6.7)'deki gibi her bir firma için hesaplanmıştır (Tablo 6.10);

$$C1^* = \frac{0,0432}{0,0432+0,0541} = 0,4439 \quad (6.7)$$

Tablo 6.10. İdeal Çözüme Göreli Yakınlık Değerleri

Firma	Si*	Si̇	Ci*
Firma 2	0,0306	0,0755	0,7115
Firma 4	0,0461	0,0521	0,5307
Firma 5	0,0520	0,0471	0,4755
Firma 3	0,0563	0,0468	0,4540
Firma 1	0,0541	0,0432	0,4439
Firma 6	0,0659	0,0319	0,3263
Firma 7	0,0760	0,0190	0,2003

Tablo 6.10' da ideal çözüme göreli yakınlık değerleri en yakın değerden ve en uzak değere göre sıralanmıştır. Firma 2 ideal çözüme en yakın değer olan 0.7115 ile dijital dönüşüm konusunda yetkinliğinin en fazla olduğu görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

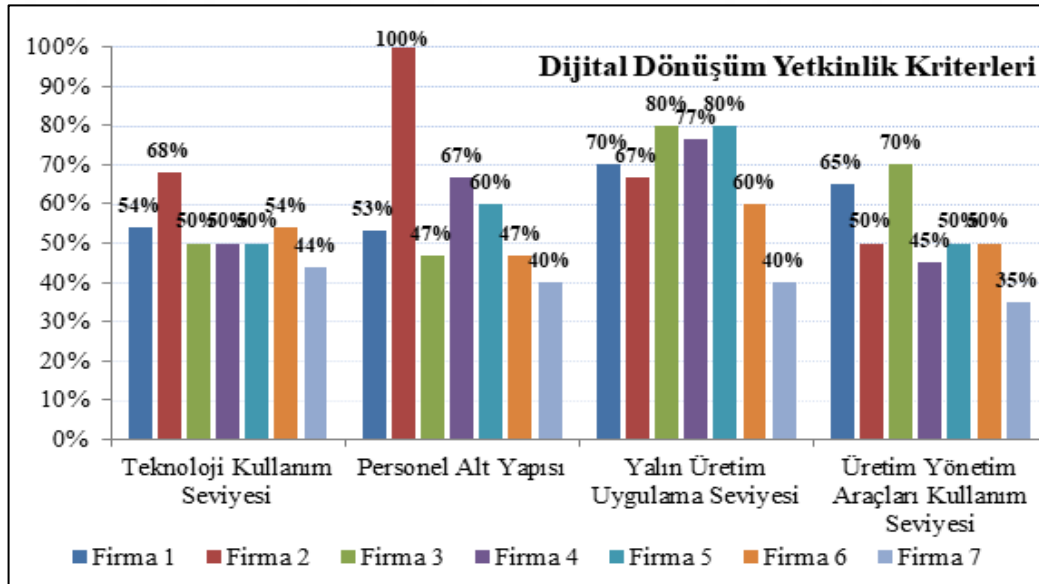
Türkiye’de beyaz eşya sektörü, diğer sektörlerle oranla Arçelik, Vestel gibi yerli markaları ile hem yurt içi hem yurt dışında daha fazla rekabet edebilen bir sektördür. Ana üreticiler ve onları destekleyen yan sanayileri ile ihracata katkıda bulunan önemli bir üretim alanıdır. Bu nedenle Türkiye’de dijital dönüşüm konusunda başı çekecek sektörler arasında sayılabilir. Beyaz eşya ana üreticileri hem üretim alanında hem de ürünler konusunda dijital dönüşüm ile ilgili çalışmalara başlamıştır. Henüz konsept aşamasında olsa da son birkaç yıldır akıllı ev aletleri fuarlarda tanıtılmaya başlanmıştır. Kullanıcıların cep telefonları aracılığı ile buzdolabında hangi ürünlerin ne seviyede olduğunu görebileceği ve içeride bulunan malzemeler ile hangi yemeklerin yapılabileceği konusunda öneri sunan akıllı ev aletlerinin olacağı bir çağa doğru ilerlenmektedir. Türkiye’nin en büyük beyaz eşya markalarından biri olan Arçelik Endüstri 4.0 konseptine uygun akıllı üretim fabrikasını kurmak için geçtiğimiz yıllarda yatırım yapmaya başlamıştır. Ana beyaz eşya üreticileri dijital dönüşüm konusunda büyük adımlar atarken tedarikçilerinin de aynı paralelde adımlar atması bu yolculuğun başarılı bir şekilde tamamlanmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, ÇKKV yöntemleri MACHBETH ve TOPSIS yöntemleri kullanılarak dijital dönüşüm konusunda performans seviyelerinin belirlenmesi için seçilen yedi firma üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Dijital dönüşüm konusunda çalışma yapacak firmalara dönüşüm için gerekli olan unsurlar konusunda eksik olduğu noktaları göstermek açısından faydalı bir çalışma olduğu söylenebilir. Küçük bir kitle üzerinde uygulama yapılmakla birlikte kapsam genişletilerek daha fazla sayıda örnek üzerinde uygulama yapılabilir.

Firmaların genel olarak dijital dönüşüm için yolun çok başında oldukları, özellikle endüstri 4.0 teknolojileri konusunda ya farkındalık seviyesinde ya da pilot uygulama aşamasında olduğu söylenebilir. Teknoloji kullanım seviyesi kategorisinde 10 sorudan oluşan ankete verilen cevaplar incelendiğinde 7 firmanın bu kategori için genel ortalaması % 53 seviyesindedir. Bununla birlikte üretimde dijital dönüşüm için

önemli bir kriter olan robot ve otomasyon sistemlerin kullanım seviyesi 7 firma genel ortalaması % 86 olarak ölçülmüştür. Bu durum firmalarda üretim şeklinin emek yoğun üretimden otomasyon sistemlere doğru büyük oranda dönüştüğünü göstermektedir.

Dönüşüm için gerekli olan yetkin personel alt yapısı açısından firmaların çoğu henüz pilot proje yapabilecek personel alt yapısına sahip olduğunu belirtmiştir. Personel yetkinliğini artırma ve yeni istihdam için insan kaynakları politikaları konusunda firmaların genel ortalaması % 59 seviyesindedir. Yalın üretim uygulama seviyeleri incelendiğinde genel ortalamanın % 69 seviyesinde olduğu diğer ölçütlere oranla uygulama seviyesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Üretim yönetim araçları kullanım seviyesi incelendiğinde firmaların % 85'i dönüşüm için önemli bir ölçüt olan ERP sistemlerini tam entegre olarak kullanmaktadır. MES, akıllı depo, EDI gibi sistemler konusunda kullanım ortalaması % 40 seviyesindedir. Bu kategoride genel ortalama % 52 olarak ölçülmüştür, diğer kriterlerle benzer bir seviye göstermektedir. Tüm kriterler birlikte değerlendirildiğinde dönüşüm için genel ortalama % 58 olarak ölçülmüştür (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Dijital Dönüşüm Yetkinlik Kriterleri Açısından Firma Değerleri

Dijital dönüşüm için çalışacak yetkin personel kaynağının yaratılması çok önemli bir konudur. Bu konuda devletin atacağı adımlar çok önemlidir. Eğitim politikaları ile meslek liselerinden, üniversitelerden mezun olacak yeni işgücünün endüstri 4.0

teknolojileri konusunda yetiştirilmesi gereklidir. Üniversite sanayi işbirliğinin güçlenmesi staj yapacak öğrencilere bu konuda pratik yapma imkânı verilmesi önemlidir. Beyaz eşya yan sanayi firmalarının bağlı olduğu BEYSAD bu konuda önemli çalışmalar yürütmektedir. Özyeğin Üniversitesi ile birlikte yaptığı çalışmada mükemmeliyet merkezi kurarak üyelerine dönüşüm konusunda hizmet vermeyi amaçlamaktadır. Üye firmaların bu platformda bir araya gelerek bu konuda edindiği deneyimleri paylaşmaları dönüşüm sürecine katkıda bulunacaktır.

Dijital dönüşüm için gerekli olan teknoloji araçlarının yerli olarak üretilmemesi yurt dışından ithal edilmesi ve bedellerinin yüksek olması dolayısı ile firmalar kaynak bulmakta zorlanmaktadır. Bu konuda devlet yatırım teşvikleri konusunda çalışmalar yapsa da yeterli olmamaktadır. Uzun vadede, Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve buna bağlı sektörlerin yerleştirilmesi ve yerli markalar yaratılması önemlidir. Bu yönde yapılacak devlet politikaları ile bu teknolojilerin iç pazardan yerel markalar ile tedarik edilebilirliği sağlanır ise tüm sektörlerde dönüşümün daha hızlı olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Özudođru A. A., Adana’da Dokuma Sanayi Yapılarının Endüstri Mirası Kapsamında İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2010, 270597.
- [2] Özdemir Ş., Sanayi Devriminin Bilim Tarihi Üzerine Etkisi, *Üretim Ekonomisi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 21-22 Mart 2014.
- [3] <http://sanayi-devrimi.nedir.org>, (Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2018).
- [4] <https://www.history.com/topics/industrial-revolution>, (Ziyaret tarihi: 18 Nisan 2018).
- [5] Hobsbawm E., *Sanayi ve İmparatorluk*, Çev. Abdullah Ersoy, 5. Baskı, Dost Kitapevi Yayınları, Ankara, 2013.
- [6] Engelman R., The Second Industrial Revolution 1874–1914, <http://ushistoryscene.com/article/second-industrial-revolution/>, (Ziyaret tarihi: 22 Nisan 2018).
- [7] Rifkin J., *Üçüncü Sanayi Devrimi*, 1. Baskı, İletişim Yayınları, İstanbul, 2014.
- [8] Güran T., *İktisat Tarihi*, 2. Baskı, Der Yayınları, İstanbul, 2017.
- [9] Kagermann H., Wahlster W., Helbig J., Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0: Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, Acatech, 2013.
- [10] Yelis B., İtfaiye V., Yatay ve Dikey Entegrasyon Nedir?, <http://www.endustri40.com/yatay-ve-dikey-entegrasyon-nedir>, (Ziyaret tarihi: 19 Nisan 2018).
- [11] <https://proente.com/endustri-4-0da-yatay-dikey-entegrasyon>, (Ziyaret tarihi: 22 Nisan 2018).
- [12] Banger G., *Endüstri 4.0 Ekstra*, 1.Baskı, Dorlion Yayınları, Ankara, 2017.
- [13] Görçün Ö.F., *Endüstri 4.0*, 2. Baskı, Beta Yayınları, İstanbul, 2017.
- [14] Özbülbül M., Endüstri Devrimleri, <http://ankaenstitusu.com/4-endustri-devrimi/>, (Ziyaret tarihi: 29 Nisan 2018).

- [15] Yıldız A., Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2018, **22** (2), 546-556.
- [16] Pamuk N. S., Soysal M., Yeni Sanayi Devrimi Endüstri 4.0 Üzerine Bir İnceleme, *Verimlilik Dergisi*, 2015, **1** (1), 41 – 66.
- [17] Özdoğan O., *Endüstri 4.0 Dördüncü Sanayi Devrimi ve Dönüşüm Anahtarı*, 1. Baskı, Pusula Yayınları, İstanbul, 2017.
- [18] <https://www.innovarobotik.com/siber-fiziksel-sistemler>, (Ziyaret tarihi: 1 Mayıs 2018).
- [19] http://siemens.e-dergi.com/pubs/Endustri40/Endustri40_DigitalFabrikalar, (Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2018).
- [20] Kahraman H., <http://www.endustri40.com/artirilmis-gerceklik-augmented-reality/>, (Ziyaret tarihi: 2 Haziran 2018).
- [21] Selek A., <http://www.endustri40.com/endustri-tarihine-kisa-bir-yolculuk/>, (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2018).
- [22] Aydemir H., Sanayi 4.0 ve Türkiye Ekonomisi Açısından Etkileri, *Sosyoekonomi Dergisi*, 2018, **26** (36), 253-261.
- [23] <http://www.prowmes.com/blog/akilli-ve-karanlik-fabrikalar/>, (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2018).
- [24] Duran A., Endüstri 4.0 ve Akıllı Fabrikalar: Üretimde Verimliliği Artırmanın 5 Yolu, <https://magg4.com/endustri-4-0-ve-akilli-fabrikalar-uretimde-verimliliği-artirmanın-5-yolu/>, (Ziyaret tarihi: 1 Mayıs 2018).
- [25] http://haber.tobb.org.tr/ekonomikforum/2016/259/016_027.pdf, (Ziyaret tarihi: 9 Nisan 2018).
- [26] İşler H., 4. Sanayi Devriminin (Endüstri 4.0) Dinamikleri ve Olası Sonuçları, <http://apelasyon.com/Yazi/786-4-sanayi-devriminin-endustri-40-dinamikleri-ve-olasi-sonuclari>, (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2018).
- [27] Fırat O. Z., Fırat S. Ü., Sanayi 4.0 Devrimi Üzerine Karşılaştırmalı Bir İnceleme: Kavramlar, Küresel Gelişmeler ve Türkiye, *Toprak İşveren Dergisi*, 2017, **114**, 10-23.
- [28] Özkan M., Al A., Yavuz S., Uluslararası Politik Ekonomi Açısından Dördüncü Sanayi-Endüstri Devrimi'nin Etkileri ve Türkiye, 2018, <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/463762> (Ziyaret tarihi: 2 Mayıs 2018).
- [29] Schwab K., *Dördüncü Sanayi Devrimi*, 1. Baskı, Optimist Yayınları, İstanbul, 2016.

- [30] Global Challenge Insight Report, The Future of Jobs, Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution, http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf, (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2018).
- [31] Ötleş S., Özyurt V. H., Büyüme ve Verimlilik İçin Dijitalleşme, <http://egeplm.ege.edu.tr/wpcontent/uploads/2016/10/PlastikAmbalaj2016Endustri4.0.pdf>, (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2018).
- [32] Baş Uçar R., Sanayi 4.0 Devrimi Türkiye, <http://www.turkishtimedergi.com/genel/sanayi-4-0-devrimi-turkiyede-turkishtimein-eylul-sayisinda/>
- [33] http://www.sp.gov.tr/upload/xSPTemelBelge/files/IcTlw+KSEP_Dokumanı2018_10_08_15_YPK_ONAYLI.pdf, (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2018)
- [34] Özbek Z, KOBİ'lerin Türk Ekonomisine Etkileri, *Uluslararası Ekonomik Sorunlar Dergisi*, 2005, **31**, 49-57.
- [35] Cansız M., Türkiye'de Kobilere ve Kosgeb, DPT Uzmanlık Tezi, Ankara, 2008, 2782.
- [36] Ege Bölgesi Sanayi Odası, Sanayi 4.0 Uyum Sağlamayan Kaybedecek, http://www.ebso.org.tr/ebsomedia/documents/sanayi-40_88510761.pdf, (Ziyaret tarihi: 26 Nisan 2018).
- [37] Fırat S.Ü., Sanayi 4.0 Dönüşümü Nedir? Belirlemeler ve Beklentiler, <http://www.sanayicidergisi.com.tr/sanayi-40-donusumu-nedir-belirlemeler-ve-beklentiler-makale,585.html>, (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2018).
- [38] Akın H. B., *Yeni Ekonomi Strateji Rekabet Teknoloji Yönetimi*, 15. Baskı Çizgi Kitabevi, Konya, 2001.
- [39] Akçacı T., Endüstri 4.0 Ve İnovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi, *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi (ASSAM - UHAD) ASSAM International Refereed Journal*, 2017, **7**, 55-77
- [40] Elmacı O., Sürdürülebilir Rekabet Üstünlüğü ve Endüstri 4.0, http://portal.dpu.edu.tr/orhan.elmaci/makale_oku/99/surdurulebilir-rekabet-ustunlugu-ve-endustri-40 , (Ziyaret tarihi: 26 Nisan 2018).
- [41] Altın O., Kaya A. A., (2009). Türkiye'de Ar-Ge Harcamaları ve Ekonomik Büyüme Arasındaki Nedensel İlişkinin Analizi, *Ege Akademik Bakış*, 2009, **9** (1), 251-259.
- [42] Baransel A. E., Endüstri 4.0 ve KOBİ'ler, ICT Media, <https://bilisim.com.tr/haberler/endustri-40-ve-kobiler-291>, (Ziyaret tarihi: 4 Mayıs 2018).

- [43] TÜSİAD Raporu, Türkiye'nin küresel rekabetçiliği için bir gereklilik olarak sanayi 4.0: Gelişmekte olan ekonomi perspektifi, <http://bilgicagi.com/wp-content/uploads/2016/03/sanayi-40.pdf> (Ziyaret tarihi: 2 Mayıs 2018).
- [44] Eğilmez M., Türkiye'nin Finansal Durumu, <http://www.mahfiegilmez.com>, (Ziyaret tarihi: 12 Mayıs 2017).
- [45] <http://www.thebrandage.com/kobiler-endustri-40in-en-onemli-aktoeruolacak> (Ziyaret Tarihi: 3 Mayıs 2018).
- [46] De Man J.C., Strandhagen J.O., An Industry 4.0 Research Agenda for Sustainable Business Models, *Elsevier B.V*, 2017, **63**, 721 – 726.
- [47] Wagner T., Hermann C., Thiede Sebastian, Industry 4.0 Impacts on Lean production Systems, *Elsevier B.V*, DOI:10.1016/j.procir.2017.02.041.
- [48] Prinza C., Kreimeier D., Kuhlenkötter B., Implementation of a Learning Environment for an Industrie 4.0 Assistance System to Improve the Overall Equipment Effectiveness, *Elsevier B.V*, DOI: 10.1016/j.promfg.2017.04.004.
- [49] Schumacher B., Erol S., Sihn W., A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises, *Elsevier B.V*, DOI: 10.1016/j.procir.2016.07.040.
- [50] Baena F., Guarina A., Mora J., Sauza J., Retat S., Learning Factory: The Path to Industry 4.0, *Elsevier B.V*, DOI: 10.1016/j.promfg.2017.04.022.
- [51] Mrugalska B., Wyrwicka M.K., Towards Lean Production in Industry 4.0, *Elsevier B.V*, 2017, **182**, 466 – 473.
- [52] Scurati W., Gattullo M., Fiorentino M., Ferrise F., Bordegoni M., Uva A.E., Converting Maintenance Actions into Standard Symbols for Augmented Reality applications in Industry 4.0, *Elsevier B.V*, DOI: 10.1016/j.compind.2018.02.001.
- [53] Tupa J., Simonata J., Steiner F., Aspects of Risk Management Implementation for Industry 4.0, *Elsevier B.V*, 2017, **11**, 1223-1230.
- [54] Tjahjono B., Esplugues C., Ares E., Pelaez G., What Does Industry 4.0 mean to Supply Chain?, *Elsevier B.V*, 2017, **13**, 1175- 1182.
- [55] Dombrowski U., Richter T., Krenkel P., Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems - a use cases analysis -, *Elsevier B.V*, 2017, **11**, 1061-1068.
- [56] Burgazoğlu H., MACHBETH, Editörler: Yıldırım B. F., Önder E., *İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, 2. Baskı, Dora Yayın Evi, Bursa, 2015.
- [57] <http://m-macbeth.com/>, (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2018).

- [58] Kundakçı N., Ercan E., Bir Tekstil İşletmesi için Desen Programı Seçiminde ARAS ve OCRA Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2017, **1** (19), 83-115.
- [59] Özdemir M., TOPSIS, Editörler: Yıldırım B. F., Önder E., *İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler İçin Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, 2. Baskı, Dora Yayın Evi, Bursa, 2015.
- [60] TÜSİAD Raporu, Türkiye'nin Sanayide Dijital Dönüşüm Yetkinliği Raporu, <http://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/9864-tusiad-bcg-turkiyenin-sanayide-dijital-donusum-yetkinligi>, (Ziyaret tarihi: 2 Mayıs 2018).
- [61] Özdemir A. İ., Doğan N. Ö., (2010), Tedarik Zinciri Entegrasyonu ve Bilgi Teknolojileri, *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2010, **28**, 19-41.



Ek-A Dijital dönüşüm yetkinlik seviyesinin ölçülmesi için yapılmış olan anket çalışması.

ANKET FORMU						
Bu anket formu Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yürütülmekte olan "Endüstri 4.0 Beyaz Eşya Sektöründe Dijital Dönüşüm Yetkinlik Analizi" başlıklı yüksek lisans tez çalışması için yapılmaktadır. Edinilecek bilgiler tamamen bilimsel amaçlı kullanılacaktır. Şimdiden değerli katkılarınızdan dolayı teşekkür ederiz.						
Zeynep Kökümer						
Kocaeli Üniversitesi						
Endüstri Mühendisliği Bölümü						
Anketi Cevaplayan:						
	Teknoloji Kullanım Seviyesi	Hayır (1)	Hayır - Konu Hakkında Farkındalık Var (2)	Evet - Pilot Proje Seviyesinde (3)	Evet - Kısmi Olarak (4)	Evet - Tüm Bölümlerde (5)
1	Veri depolama için Bulut Teknolojisi ile ilgili uygulama mevcut mudur?	()	()	()	()	()
2	Yapay Zeka ile ilgili uygulamalar mevcut mudur?	()	()	()	()	()
3	Veri güvenliği ile ilgili çalışmalar mevcut mudur?	()	()	()	()	()
4	Robot ve Otomasyon sistemler kullanılıyor mu?	()	()	()	()	()
5	Üretimde veri toplamak için sensörler kullanılıyor mu?	()	()	()	()	()
6	Büyük veri analizi ile ilgili uygulamalar mevcut mudur?	()	()	()	()	()
7	Nesnelerin İnterneti ile ilgili uygulamalar mevcut mudur?	()	()	()	()	()
8	Fabrika simülasyonu ile ilgili çalışmalar mevcut mudur?	()	()	()	()	()
9	Arttırılmış Gerçeklik ile ilgili uygulamalar mevcut mudur?	()	()	()	()	()
10	Eklemler Üretim yöntemi kullanılıyor mu?	()	()	()	()	()
Personel Alt Yapısı						
11	Dijital dönüşüm için mevcut personel kaynağı yeterli midir?	()	()	()	()	()
12	Dijital dönüşüm konusunda mevcut personelin yetkinliğini arttırıcı faaliyetler mevcut mudur?	()	()	()	()	()
13	Dijital Dönüşüm için personel ihtiyaç planlaması yapıldı mı?	()	()	()	()	()
Yalın Üretim Uygulama Seviyesi						
14	Firmanızda SMED (Tekli Dakikalarda Kalıp Değişimi) yöntemi uygulanıyor mu?	()	()	()	()	()
15	Firmanızda TPM (Toplam Verimli Bakım) yöntemi uygulanıyor mu?	()	()	()	()	()
16	Firmanızda 5S yöntemi uygulanıyor mu?	()	()	()	()	()
17	Firmanızda VSM (Değer Akış Haritalama) yöntemi uygulanıyor mu?	()	()	()	()	()
18	Firmanızda KANBAN yöntemi uygulanıyor mu?	()	()	()	()	()
19	Firmanızda Performans göstergeleri takip ediliyor mu?	()	()	()	()	()
Üretim Yönetim Araçları Kullanım Seviyesi						
20	Firmanızda ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) kullanılıyor mu?	()	()	()	()	()
21	Firmanızda MES (Üretim Yürütme Sistemi) kullanılıyor mu?	()	()	()	()	()
22	Firmanızda Akıllı Depo uygulamaları mevcut mudur?	()	()	()	()	()
23	Firmanızda Tedarik Zinciri Yönetiminde EDI (Elektronik Veri Değişimi) kullanılıyor mu?	()	()	()	()	()

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Zonguldak’da doğdu. 2000 yılında öğrenim hayatına başladığı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden 2004 yılında Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. 2007 yılında Beyaz Eşya Sektrörü’nde tedarikçi olarak faaliyet gösteren bir firmada planlama sorumlusu olarak çalışmaya başladı. 2016 yılından itibaren aynı firmada Teknik Müdür olarak görevini sürdürmektedir.

